Government of Canada / Gouvernement du Canada

Canadian Forestry Service / Service canadien des forêts

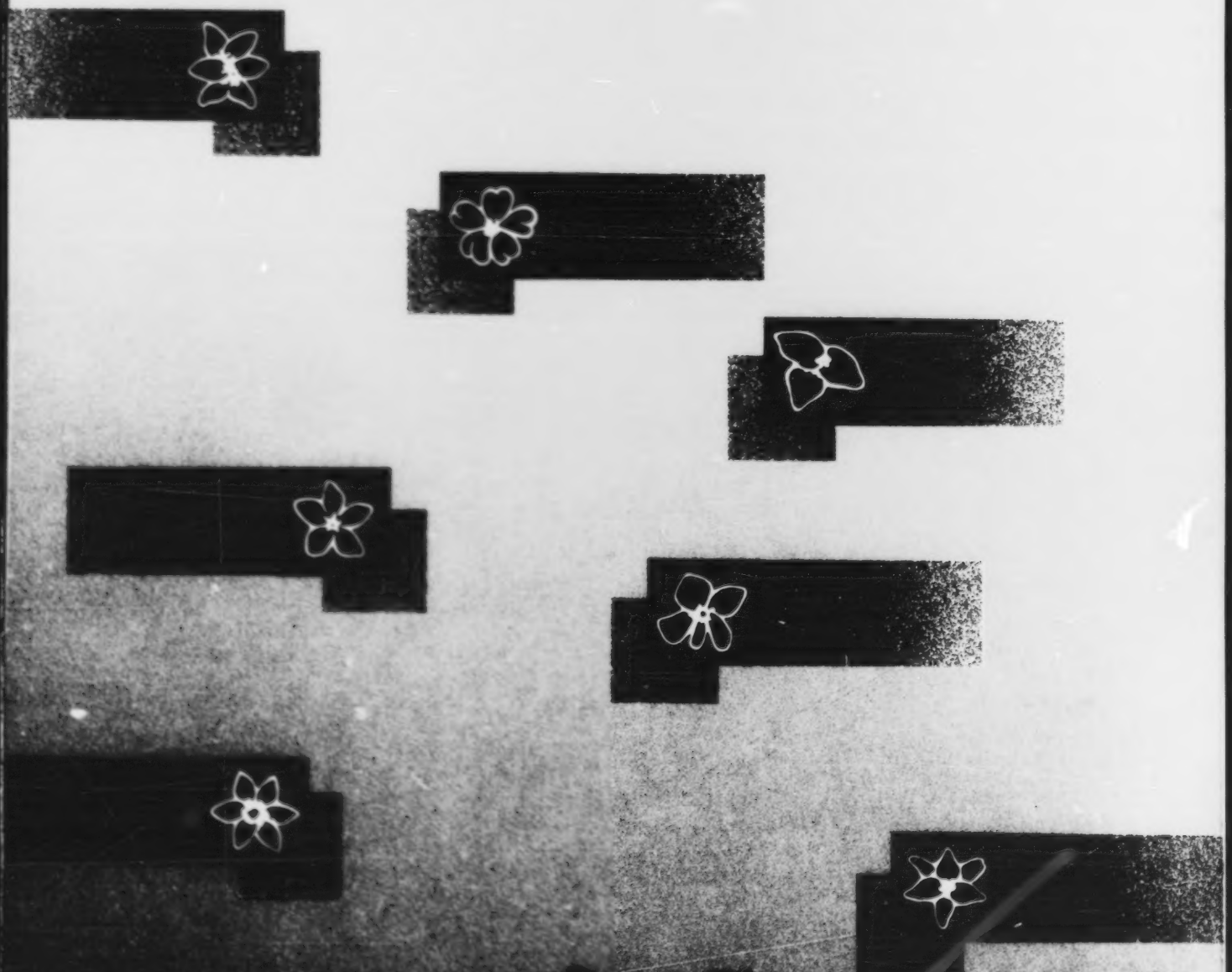
Interprovincial Forest Fertilization Program 1968-1983

H.H. Krause, G.F. Weetman
E. Koller and J.M. Veilleux

DPC-X-21

Information Report DPC-X-21
Forest Science Directorate

Results of ten-year growth remeasurements



Canada

88-04121/

THE CANADIAN FORESTRY SERVICE GOVERNMENT OF CANADA

The Canadian Forestry Service is the principal source of federal expertise in forestry and has been designated as the government's lead agency for forestry matters. Its general objective is to promote the wise management and use of Canada's forest resources for the economic, social, and environmental benefit of Canadians.

The following are the main functions of the CFS:

1. Coordination of federal policies for the promotion of better resource management and forest industry development.
2. Provision of scientific and technological leadership in forestry through research and development.
3. Provision and analysis of national and international statistics and information as a basis for policy formulation.
4. Development and certification of codes and standards for wood product performance.
5. Protection of Canada's forests from foreign pests.
6. Fostering the potential use of the forest resource for energy.
7. Contributing to the environmental objectives of the Government of Canada.

Canadian Forestry Service programs are coordinated with those of other forestry agencies through a variety of mechanisms, including the Canadian Council of Forestry Ministers, the Forest Sector Strategy Committee, management committees for Federal-Provincial Forestry Development programs, national and regional Research Advisory Committees, and various technical committees for specific program areas.

The Canadian Forestry Service comprises a headquarters unit, six forestry centres, and two national institutes. The forestry centres are responsive to regional priorities and maintain close liaison with the respective provincial government forestry departments and other clients. They also participate in, and frequently lead, national programs. The national institutes provide the focus for programs of national scope.

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS GOUVERNEMENT DU CANADA

Le Service canadien des forêts (SCF) réunit la majorité des spécialistes fédéraux en foresterie; il a été désigné comme l'organisme officiel du gouvernement responsable du secteur forestier. Son objectif général est de promouvoir l'aménagement et l'utilisation judicieux des ressources forestières du Canada pour le plus grand bien économique, social et environnemental des Canadiens.

Voici les principales fonctions du SCF:

1. Coordonner les politiques fédérales afin de favoriser l'amélioration de la gestion des ressources et l'expansion de l'industrie forestière.
2. Fournir une orientation scientifique et technologique dans le domaine de la foresterie, par la recherche et le développement.
3. Fournir et analyser les statistiques et l'information nationales et internationales qui serviront à établir les politiques.
4. Mettre au point et homologuer des codes et des normes en matière de rendement des produits du bois.
5. Protéger les forêts canadiennes en luttant contre les ravageurs étrangers.
6. Parrainer l'utilisation éventuelle des ressources forestières pour la production d'énergie.
7. Adhérer aux objectifs environnementaux du gouvernement fédéral.

Les programmes du SCF sont menés de concert avec ceux d'autres organismes forestiers par l'entremise de divers mécanismes dont le Conseil canadien des ministres des Forêts, le Comité de la stratégie forestière, les comités de gestion des programmes fédéraux-provinciaux de développement forestier, les comités nationaux et régionaux consultatifs sur la recherche, de même que divers comités techniques axés sur des domaines de programmes spécifiques.

Le SCF comprend une administration centrale, six centres de foresterie et deux instituts nationaux. Les centres de foresterie doivent répondre aux impératifs régionaux et entretenir une liaison étroite avec les ministères provinciaux des Forêts. Ils participent également à des programmes nationaux dont ils assument fréquemment la direction. Les instituts nationaux sont les foyers des programmes d'envergure nationale.

Interprovincial Forest Fertilization Program 1968-1983

Standardized fertilizer installations in 81
unmanaged middle-aged stands
in seven provinces

Final report

Results of ten-year growth remeasurements

by

G.F. Weetman[1], H.H. Krause[2]
E. Koller[3], and J.-M. Veilleux[4]

Information Report DPC-X-21
Canadian Forestry Service
Ottawa 1987

[1]Faculty of Forestry, University of British Columbia
[2]Faculty of Forestry, University of New Brunswick
[3]Pulp and Paper Research Institute of Canada
[4]Quebec Department of Energy and Resources

© Minister of Supply and Services Canada 1987

Catalog No. Fo46-13/21-1987

ISBN 0-662-55143-5
ISBN 0705-324X

Additional copies of this publication are available at no charge from:

Canadian Forestry Service
Place Vincent Massey, 21st Floor
Ottawa, Ontario
K1A 1G5

A microfiche edition of this publication may be purchased from:

Micromedia Ltd.
Place du Portage
165, Hôtel-de-Ville
Hull, Quebec
J8X 3X2

Printed in Canada

Abstract

The Interprovincial Forest Fertilization Program comprises 81 standardized experiments established by the provincial forest services of New Brunswick, Quebec, Ontario, Manitoba, and Alberta, and by the Canadian Forestry Service in the provinces of Nova Scotia and Saskatchewan. Seventy-three of the experiments were remeasured after 10 growing seasons. The field trials were designed to test the effect of nitrogen when applied as urea at the rates of 112 and 224 kg/ha, and the effects of combined nitrogen, phosphorus, and/or potassium additions on the growth of pole-size and semimature conifer stands. In the combination treatments, nitrogen was applied at the high rate, phosphorus as triple super phosphate at the rate of 112 kg/ha, and potassium as potassium chloride, also at the rate of 112 kg/ha.

After 5 years, growth was significantly improved by fertilization in 23 of the 81 installations. Significant growth responses were most frequent in jack pine stands. Increases in the 5-year increment of total stand volume varied between 4.2 and 19.9 m^3/ha or 24 percent and 111 percent. The treatments did not differ significantly among themselves, although potassium apparently improved growth above control. Nitrogen was the only element that improved stand growth.

Responses to fertilizer treatments were less frequent in black spruce installations, and the size of response was lower than in most jack pine stands. In mixed stands, jack pine responded more strongly to fertilizer treatments than black spruce. Balsam fir and jack pine stands showed similar response patterns and ranges in total volume gain with fertilizer treatments.

After 5 years, three white spruce stands in Alberta showed an average increase in the periodic increment of 12.1 m^3/ha or 35 percent with nitrogen application at the high rate, but no response was shown by the same species in the Maritime provinces. One of three red spruce stands showed moderate growth responses to the addition of nitrogen at the high rate and to the addition of combined nitrogen, phosphorus, and potassium. The largest gain in total volume, 37.3 m^3/ha or 111 percent of the periodic increment, was achieved by adding nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers to an aspen stand in Saskatchewan.

After 10 years, net growth was still significantly improved by fertilization in 19 installations. In all but the jack pine installations the average gains by species in 10-year increment were largely offset by large mortality losses in the fully stocked, unmanaged, middle-aged stands that were available for testing. The averaged net 10-year increment gain for 28 jack pine installations ranged from 5 to 15 m^3/ha.

Nitrogen was the only element producing the most consistent response. However, many installations showed the highest growth rates with combinations of nitrogen, phosphorus, and/or potassium fertilizers, but the responses were often not significant. Some installations did show that growth was significantly improved with one or several of the combination treatments, but not with nitrogen alone.

Attempts to relate 5-year fertilization response to stand conditions and site factors were not generally successful. But good correlation was shown for response and foliar nutrient levels in jack pine stands before treatment.

Economic analyses of response data from the interprovincial trials and independent experiments with jack pine have indicated that fertilizer use may be financially attractive under certain conditions. In most portions of central and eastern Canada, however, management-related problems may constrain fertilizer use; of particular concern are the high periodic mortality losses in dense, middle-aged, unmanaged conifer stands.

Correct citation:
Weetman, G.F.; Krause, H.H.; Koller, E.; Veilleux, J.-M. 1987. Interprovincial Forest Fertilization Program 1968-1983. Can. For. Serv., Ottawa, Ont. Inf. Rep. DPC-X-21

Contents

Page

LIST OF TABLES vii

LIST OF FIGURES viii

FOREWORD ix

COOPERATORS x

ACKNOWLEDGEMENTS xi

INTRODUCTION 1

The Interprovincial Forest Fertilization Program 1
Overview of other Canadian studies 3
Operational forest fertilization in Canada 4

METHODS 5

RESULTS 8

Ten-year growth and fertilization response 9
Jack pine 9
Black spruce 11
Jack pine — black spruce 12
White spruce 12
Red spruce 13
Balsam fir 13
Fertilizer treatments and tree mortality 13
Fertilizer treatments and ingrowth 15
Five-year periodic increment and fertilization response as affected by stand condition 15
Five-year periodic increment and fertilization response as affected by foliar nutrient levels 15
Site, periodic increments, and fertilization response 16

DISCUSSION 17

Response to nitrogen 17
Magnitude of response 17
Application rate 18
Nitrogen carriers 19
Inconclusive phosphorus and potassium effects 19
Fertilization efficiency 19
Response prediction 20
Economic considerations and implications of results to forest management 20
Deficiencies in the Interprovincial Trials 21

SUMMARY AND CONCLUSIONS 23

TABLES 24

REFERENCES 37

APPENDIX I Forest cover and some site characteristics at experimental locations 40

APPENDIX II Ten-year periodic growth fertilization response in individual installations 42

APPENDIX III Statistical significance of fertilization effects on total volume increments in individual installations 49

APPENDIX IV Volume loss due to tree mortality and gain in merchantable volume due to ingrowth of small trees by installation and treatment 51

APPENDIX V Metric units and ratios, and their English equivalents 53

List of Tables

1. Number of installations included in the 10-year remeasurement and originally established (in parentheses where different) 24
2. Forest Sections, age, site index , of jack pine experimental stands 25
3. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentide-Onatchiway, and Northern Clay Forest Sections. 26
4. Initial total volume (TV) and 10-year increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Missinaibi-Cabonga Forest Section 27
5. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Upper English River and Mixedwood Forest Sections. 28
6. Forest Sections, age and site index of installations with black spruce and mixed jack pine and black spruce stands. 29
7. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Laurentide-Onatchiway and Northern Clay Forest Sections. 30
8. Initial total volume (TV) and 10-year increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Missinaibi-Cabonga and Mixedwood Forest Sections. 31
9. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments of installations with mixed stands of jack pine and black spruce. 32
10. Forest sections, age and site index of white spruce, red spruce and balsam fir installations. 33
11. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in white and red spruce stands with and without fertilizer treatments. 34
12. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in balsam fir stands. 35
13. Tree mortality and ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction during the first 10 years after treatments. 36

List of Figures

1. Distribution of experimental areas. 2
2. Flow chart for the calculation of 5-year periodic growth and fertilization responses. 5
3. Total tree volume as a function of dbh (LVT). 6
4. Relative fertilization responses for jack pine installations in selected Forest Sections. 8
5. Relative fertilization responses for black spruce and black spruce-jack pine installations in selected Forest Sections. 10
6. Relative fertilization responses for white spruce and balsam fir installations in selected Forest Sections. .. 12
7. Gross (0) and net (●) total volume increments by species and treatment during the first 10-year period following fertilizer applications. Solid line between the two points gives mortality. 14
8. Amount of urea N required to produce one m^3 of wood (total volume) by Scots pine and Norway spruce as a function of application rate (redrawn from Jonsson 1977). 20
9. Examples of between plot response variation: Initial total volume and 10 year increment of live trees (m^3/ha). 22

Foreword

The history, concept, design, and working arrangements for the Interprovincial Forest Fertilization Program were originally described in the Progress Report for 1969/72 (Canadian Forestry Service 1973).

The program schedule provided for the establishment of trials over a 5-year period beginning in 1969, followed by appropriately timed remeasurements to assess 5-and 10-year responses.

These reports were published by the Department of the Environment, Canadian Forestry Service, as Technical Reports Nos. 16 and 22, and as Information Report DPC-X-8.

The consolidated 5-year data set was analyzed and published in 1982 as Canadian Forestry Service Information Report DPC-X-12. Through contract arrangements provided by the Canadian Forestry Service, H.H. Krause, G.F. Weetman, and E. Koller were commissioned to analyze and interpret the 10-year remeasurement data collected in 1979, 1980, and 1981, and to prepare a 10-year report.

This final report on the Interprovincial Forest Fertilization Program contains only the 10-year response data set. Sections of the 5-year report are included to present a more complete report.

Cooperators

The Technical Committee which guided the establishment and reporting of the project was composed of representatives of the:

Alberta Energy and Natural Resources

Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services

Ontario Ministry of Natural Resources

Quebec Department of Energy and Resources

New Brunswick Department of Natural Resources

Nova Scotia Department of Lands and Forests

Canadian Pulp and Paper Association

Pulp and Paper Research Institute of Canada

University of British Columbia

University of New Brunswick

Canadian Forestry Service

Acknowledgments

This report results from cooperative action by the Pulp and Paper Research Institute of Canada, the provinces of Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, Quebec, New Brunswick, and Nova Scotia, the University of British Columbia, and the Canadian Forestry Service.

The authors are indebted to I.K. Morrison, M.K. Mahendrappa, I. Bella and R.C. Yang for their critical and constructive reviews of the manuscript.

Introduction

The Interprovincial Forest Fertilization Program

The effects of fertilizers on forest growth in Canada have been studied since the 1950s. The early work was reviewed by Armson (1967), Rennie (1972), and Armson et al. (1975). Information was still scarce at the end of the 1960s. However, some of the studies that had been conducted (Leech 1969; Weetman 1968), and the results of older studies in ecologically similar Scandinavian forests, indicated that many forest site types could yield positive economic responses to nitrogen (N) fertilization. Chiefly, the need for supplementary N may be explained by the tendency of coniferous forests to form excessive raw humus in regions of low mean annual temperatures and moderately to strongly acid soils. Mineral cycling in closed stands is slow in the presence of excessive raw humus, and a strong biological competition for N may develop (Krause et al. 1978; Rennie 1978).

In the 1960s proven methods of soil and plant analysis did not exist to predict fertilization response in Canadian forests. As a result, because of the lack of these analytical tools, emphasis had to be placed on empirical field testing to yield bench mark data for fertilization response in different forest cover types and growth regions of the country. These thoughts prevailed in the 1960s when plans for the interprovincial program were devised. In the meantime, the results of various independent Canadian studies have been published and significant changes have occurred in the relationship of wood demand and supply.

Over 90 percent of all commercial forest land in Canada is owned by the provinces. Therefore, a cooperative research program was proposed by the Pulp and Paper Research Institute of Canada (PPRIC) to the provinces in March, 1968. All provinces agreed to participate except Newfoundland, Prince Edward Island, and British Columbia. Soon after this the British Columbia Ministry of Forests began establishing its own series of fertilizer trials in coastal forests of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) and western hemlock (*Tsuga heterophylla* [Raf.] Sarg.) (B.C. Ministry of Forests 1983).

The original proposal for the interprovincial studies called for 120 separate standardized trials on different sites and in different cover types. Eventually 81 trials were set up in stands of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), red spruce (*Picea rubens* Sarg.), white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss), balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill), and trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) from 1969 to 1972. Eighty installations were remeasured at the end of 5 years and 75 at the end of 10 years. A summary of trials by province, year of establishment, and species is given in Table 1, and the approximate locations of individual trials are indicated in Figure 1.

According to the cooperative arrangement of the program, all work, including selection of experimental sites, plot establishment, fertilizer application, original stand measurements, and remeasurements, was to be carried out by the provincial forest management agencies or the regional laboratories of the Canadian Forestry Service (CFS). Guidelines for all fieldwork were prepared by the Technical Committee, which was established in 1968. The data were processed at PPRIC under the direction of E. Koller. The CFS has provided chairmen for the Technical Committee and funding for the preparation and publication of reports. All expenses for fieldwork have been borne by the provinces except for Nova Scotia and Saskatchewan. In these two provinces, all the work was carried out by the CFS.

Figure 1. Distribution of experimental areas.

Overview of Other Canadian Studies

In the Atlantic Region, field trials testing the effects on N, P, and K have been performed in preharvest age stands of black spruce, balsam fir, and jack pine (Hoyt 1973; van Nostrand 1979; Krause 1981). These trials used simple factorial designs as did those for a balsam fir Christmas tree plantation (Timmer et al. 1977). These studies showed consistent responses to N; the effects of P and K additions were usually not statistically significant.

In British Columbia, 85 Forest Productivity Installations were established in coastal Douglas-fir and western hemlock stands starting in the 1970s. Urea was applied at 225, 450, and 625 kgN/ha rates with and without various levels of thinning. There has been no effect of site index on the strong Douglas-fir response, but the weaker western hemlock response was better on the poorer sites and younger stands after six growing seasons. Nine-year data are available from 224 and 448 kgN/ha urea and thinning treatments in 18-year old Douglas-fir at Shawnigan Lake, B.C. (Barclay et al. 1982).

One of the earliest fertilization experiments, combined with stand thinning, was conducted with black spruce in Quebec (Weetman 1975). This study showed a strong positive interaction between N addition and thinning. Other fertilization trials have been carried out in Quebec with balsam fir (Gagnon et al. 1979; Brazeau 1979) and jack pine (Sheedy 1977; Camire 1980).

In northern Ontario, the Great Lakes Forestry Centre developed the Northern Ontario Pulpwood Fertilization Program comprising more than 632 permanent plots in jack pine and black spruce stands. In addition, there were another 226 plots for which responsibility was given in relation to the Industry-Collaborative Series; plus another 92 plots directly from industry. Consistent responses of jack pine to N additions have been shown (Morrison et al. 1976a, 1976b, 1976c, 1977a, 1977b, 1977c; Foster and Morrison 1983a, 1983b).

Many studies have focussed on the fate of added fertilizers. Mahendrappa and Ogden (1973) and Bernier et al. (1972) attempted to quantify N losses by volatilization following the application of urea. Other studies have been concerned with the transformation of fertilizer N in soil, especially its immobilization and remineralization in the forest floor (Roberge and Knowles 1966; Mahendrappa 1978). In studies with jack pine in northern Ontario, and attempt was made to follow the mineral cycling of fertilizer N through the forest ecosystem (Foster and Morrison 1976; Morrison and Foster 1977). Of special interest with respect to N transformations and distribution in fertilized balsam fir and jack pine ecosystems are the recent doctoral dissertations of Brazeau (1979), Foster 1979, and Camire (1980).

A 10-year experiment was established in a 40-year old jack pine stand to examine the relationship between different repeated N fertilizer application regimes (optimum nutrition experiment), single applications of different types of nitrogen fertilizer (nitrogen source experiment), and the fertilizer treatments in this study (interprovincial experiment) and the subsequent stand basal area increment.

Forms of N applied did not influence 10-year response; the greatest growth response was found with six 56 kgN/ha applications associated with sustained 1.4 percent N foliar concentrations in current year needles. The interprovincial fertilizer experiment did not produce significantly different growth responses over controls, although two other experiments in the stand were clearly responsive to fertilization (Weetman and Fournier 1984a, 1984b). These results indicate that the interprovincial installations lacked sensitivity in detecting fertilizer response.

Groot et al. (1984) found a response lasting 10 years in 45-year old jack pine following an application of urea at 336 kgN/ha, with no effect on tree form factor.

Timmer and Morrow (1984) working in a 28-year old jack pine stand showed the stand to be responsive to N application. They also showed that graphical diagnosis of unit needle weight, foliar nutrient concentration, and unit needle nutrient content shifts between treatments at the end of the first growing season, provided not only a diagnosis of stand nutrient status but also an index of subsequent stand growth response. Very high linear correlations between first season needle dry weight and subsequent growth response have been found in several studies for determinate coniferous species.

This one-year screening trial approach has also been successfully used in lodgepole pine to determine the response of many stands to factorial fertilizer treatments (Weetman et al. 1985).

The economics of fertilization in jack pine forests of northwestern Ontario and Quebec have been examined by Tucker (1974) and Nadeau (1977). A general review of fertilization of plantations has recently been prepared by Ballard (1984). Foster and Morrison (1983a, 1983b) have reviewed response for the Lake Superior Region and for Canada generally.

Operational Forest Fertilization in Canada

Recent studies of wood supply and demand on both a regional and national basis have identified current and future deficits of wood production in Canada (Reed 1979). These studies have also indicated that current efforts in forest management are insufficient to sustain present levels of utilization in many regions. Common reasons are imbalances in age-class distribution, declining yields of individual stands, often below the level of logging operability, and alienation of forest land from commercial use.

In contrast to other techniques of intensive forest management, fertilization can quickly produce increases in merchantable volume. Fertilization can be used by forest managers as an alternative to fill in deficient timber volumes in younger age classes or to provide additional volumes in near-mature stands. In Scandinavia, fertilizers have been used on a large scale to increase timber volumes in middle-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). In British Columbia, where similar problems in age-class distribution exist, operational fertilization programs have been in existence for more than 10 years. Between 1978 and 1981, 52 000 ha were fertilized with urea on Crown lands in British columbia. In addition CIP Forest Products treated over 15 000 ha. Between 1986 and 1990, a further 80 000 ha is proposed for fertilization at a cost of $19 million jointly funded by the Province and the Federal government; for the first time interior forests will be treated. In the Pacific Northwest of the United States, larger programs have been underway for many years with over 1 million ha treated to date; nearly all of it coastal Douglas-fir. Stands selected for treatment usually have low initial density or have had stocking control, and are grown chiefly for the production of valuable sawtimber. Current (1985) application costs are estimated to be about $225/ha for 225 kgN/ha applied as urea by helicopter, i.e., about $1 per kg of N applied.

There are presently no programs of operational forest fertilization in central and eastern Canada. Most likely reasons are that many stands have little or no sawtimber value, have Crown ownership with low royalty rates compared to market price stumpage values, and high-density, unmanaged stands with continuing tree mortality. Additional constraints are spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* [Clem]) epidemics and unsatisfactory owner-licensee contractual relationships over payment of silvicultural costs.

Operational trials with aerial application of N fertilizers were carried out in northern Ontario (Armson 1972) and in Quebec on balsam fir (Roberge and Gagnon 1974) and jack pine (Veilleux and Sheedy 1977). Other, but less well documented operational trials were conducted by industries in New Brunswick and Nova Scotia. Based on experimental response data for lodgepole pine in Alberta, it was calculated that fertilization of 1680 ha of 70-year old stands at Hinton with N at 300, P at 150 and S at 90 kg/ha would yield 36 000 m^3 of additional wood volume (Weetman et al. 1985).

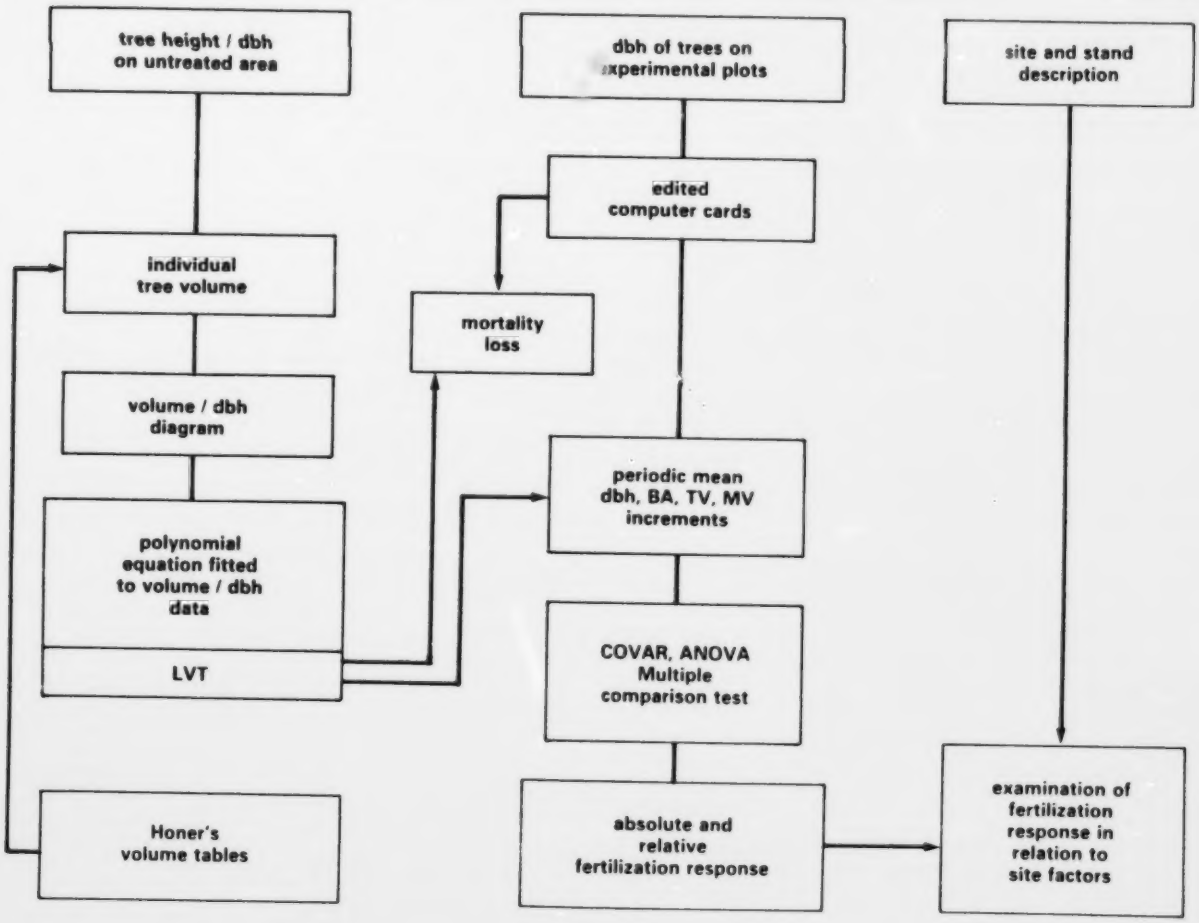


Figure 2. Flow chart for the calculation of 5-year periodic growth and fertilization responses.

In the design of standardized experiments, it was assumed that in most instances, N would be a significant growth limiting factor, that phosphorus (P) and potassium (K) would be present in amounts sufficient for the suboptimal growth of N-deficient trees, but that positive interactions might result between N and P and between N and K under certain site and stand conditions.

Accordingly, these 6 treatments were tested:

1. C — Control
2. N — Nitrogen at 112 kg/ha
3. 2N — Nitrogen at 224 kg/ha
4. 2N + P — Nitrogen at 224 kg/ha
   — Phosphorus at 112 kg/ha
5. 2N + K — Nitrogen at 224 kg/ha
   — Potassium at 112 kg/ha
6. 2N + PK — Nitrogen at 224 kg/ha
   — Phosphorus at 112 kg/ha
   — Potassium at 112 kg/ha

The following fertilizers were used:

N — Urea — granular, standard size prills — 44% N
P — Triple superphosphate — 45% P_2O_5
K — Potassium chloride — 61% K_2O

The treatments were duplicated in two completely randomized blocks with circular plots. The size of plots to which fertilizers were applied varied from 0.02 to 0.09 ha. Trees were measured on concentrically located inner plots that varied in size from 0.01 to 0.04 ha. All living trees with a diameter at breast height (dbh)[1] of 6.35 cm were numbered. Tree species and diameter were recorded at the time of installation.

Tree diameters (dbh) on the fertilized and control plots of all installations were measured initially and remeasured after completion of the fifth and tenth growing seasons following treatments; tree mortality was noted. Heights were measured on 15 trees per plot in Quebec at each remeasurement. In other provinces, heights of 50 trees on untreated areas were measured over a range of diameters at both remeasurements.

The principal steps taken in the calculation of fertilization response are illustrated in Figure 2, used for the 5- and 10-year measurements.

Total and merchantable tree volumes were obtained from measured tree heights and dbh and by the use of Honer's (1967) standard volume tables. To localize the volume tables, volumes were plotted against diameter, and curves fitted to the data from each installation by the use of polynomial quadratic equations. A cubic term was added if it significantly improved the fit of the curves.

For installations in mixed stands, an attempt was made to establish separate volume-diameter relationships for the different species, but the numbers of trees of secondary species were usually too few to achieve this. Visual comparison of plotted volume over diameter data did not show obvious differences among species. The use of one equation only, fitted to the entire diameter and tree volume data from one installation, therefore seemed justified. However, separate volume-diameter relationships were established for eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.), a secondary species in several Quebec installations.

[1]Measured at 1.37 m (4.5 feet) above ground level

The polynomial equations, that were prepared separately for each installation, give total or merchantable volume as a function of dbh and are referred to as local volume tables (LVT) throughout this text. An example is given in Figure 3. In the calculation of merchantable volumes, a minimal dbh of 9 cm and a tree-top diameter of 7.6 cm were assumed. Changes in tree form resulting from fertilizer treatment were not considered. The LVT were recalculated using the 10-year remeasurements and did not differ from the 5-year LVT.

The LVT were used to compute plot volumes both at the time of treatment and 5 and 10 years after treatment. Unfortunately, height measurements of the trees were not taken at the time of treatment on most plots. It was realized that by using the single set of LVT, a tendency for over-estimating fertilization response existed (Evert 1976) and that diameter-volume relationships are subject to change as a stand ages. However, tree heights had been measured before and 5 years after treatment on the Quebec installations, which allowed for preparation of two LVT. When volume and fertilization responses were computed using two separate LVT, the results obtained did not differ significantly from those obtained with one LVT. Apparently, measurements and methods of volume determination, as used in this study, were not sensitive enough to detect the effect of stand age on height-diameter and diameter-volume relationships.

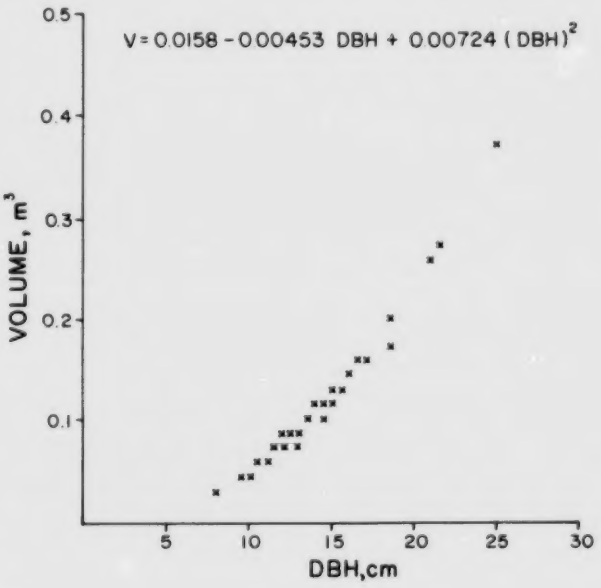


Figure 3. Total tree volume as a function of dbh (LVT).

The diameter data were edited first to eliminate erratic observations. Suspect trees were referred back to the cooperators. No living tree was normally excluded. Oversized trees, rarely more than one, were present on a few plots. These trees were rejected if their dbh was beyond the limit of the LVT.

The volume of dead trees and the average stand mortality were determined first for each treatment. Initial and final mean dbh, basal area (BA), total volume (TV), and merchantable volume (MV), and the corresponding periodic increments (PI) were then computed for the stands from the trees alive at the end of the 5- and 10-year periods. The resulting data were subjected to analyses of variance (ANOVA) and covariance (COVAR). Initial TV was used as a covariant for volume increment. Treatment means adjusted by COVAR are reported if the slope of regression was significant at the 10 percent level of probability ($P = 0.1$). For installations where this requirement was not met, unadjusted means are shown.

The results were further subjected to Scheffe's (1959) test to determine which treatment means of an installation or group of installations differed significantly from each other. This method of multiple comparison was chosen because it has been suitable for use with data adjusted by COVAR analysis (Hamilton 1965). Scheffe's test is considered to be a conservative test. Examples did occur of significant F values for some installations whereas Scheffe's test for treatment means showed them to be nonsignificant. The results of the combined installation analyses are shown in the rows identified as average in Tables 3 - 12.

All the diameter measurements at years 0, 5, and 10, and heights when taken, for all plots in all installations (81 installations x 12 plots per installation) have been recorded on 9-track, 800 Bpi bits per inch magnetic tape. The tapes are at the Pulp and Paper Research Institute of Canada and the Faculty of Forestry, University of British Columbia. The programs used for data analysis are also on tape.

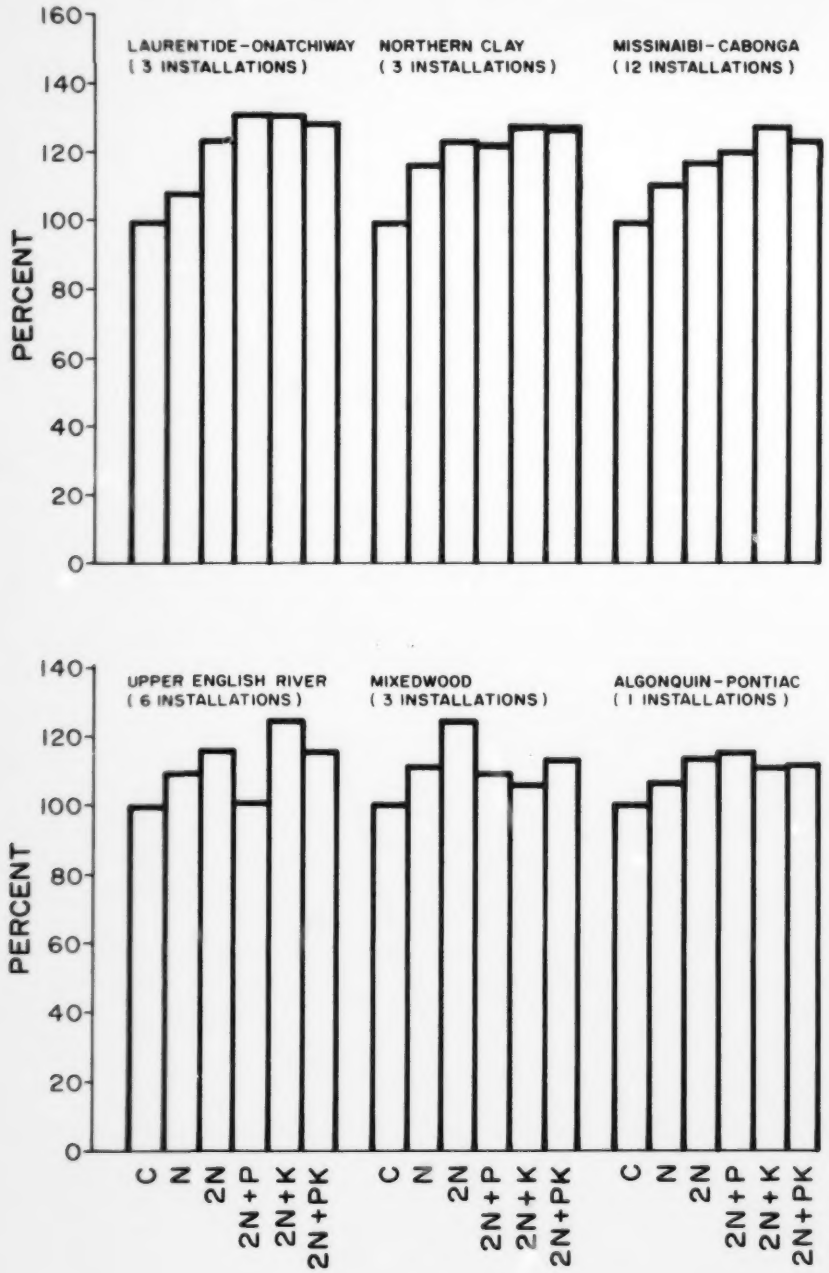


Figure 4. Relative fertilization responses for jack pine installations in selected Forest Sections.

Ten-Year Growth and Fertilization Responses

Treatment effects are evaluated from 10-year PI in total stand volume. Corresponding increments in BA and MV are given together with the initial stand measurements in Appendix II.

The productivity of experimental stands at indigenous (without fertilizer addition) productivity, and their response to treatments varied with species and growing area.

Jack Pine

This species is represented by 29 installations covering parts of Quebec, Ontario, Manitoba, and Saskatchewan (Table 2). Most of these installations (27) are located within the Boreal Forest Region. The remaining two are in the Great Lakes-St. Lawrence Forest Region. The results from the various installations are presented by the Forest Sections defined by Rowe (1972). Where there was more than one installation in a Section, the data were re-analyzed using an hierarchal classification of samples (installations) and subsamples (plots within installations) (Snedecor and Cochran 1967).

L.4b Algonquin-Pontiac Forest Section

The single experiment (Quebec 23), located towards the northern fringe of the Great Lakes-St. Lawrence Forest Region, involved a Site Class I (Plonski 1974) stand.

The 5-year PI on control plots was 26.6 m^3/ha; the 10-year PI was 85.3 m^3/ha. All N_2 treatments resulted in improved growth. Gains in TV of 9.4-12.7 m^3/ha (Table 3) and a relative increase of the PI by 12-14 percent (Figure 4) were realized. The successful treatments did not differ significantly among themselves (Appendix III).

L.7 Saguenay Forest Section

The stand of the single experiment (Quebec 33) was characterized by a low current growth rate on control plots (Table 3).

The 10-year remeasurement data suggested a moderate response to treatments containing both N and K. However, the differences between growth on control and treated plots were statistically not significant.

B.1a Laurentide-Onatchiway Forest Section

Three stands were selected in this eastern section of the Boreal Forest, all located on rapidly drained fluvioglacial deposits (Appendix 1). The stands were middle-aged and from the site indices, represented Site Classes II and III (Plonski 1974). One of the stands was overstocked and another largely understocked. The variation in stocking and productivity is reflected in the initial volumes of the three installations (Table 3).

The PI of the three stands varied from 29.5-59.9 m^3/ha at indigenous nutrient supplies (Table 3). The average PI was significantly increased above control with 2N + P, 2N + K, and 2N + PK. These treatments resulted in a TV gain of about 10 m^3/ha and a corresponding relative increase of the PI by approximately 34 percent (Figure 4).

Only one of the three installations (Quebec 38) showed significant treatment effects when analyzed individually (Appendix III). Although there were no significant treatment effects in the remaining two experiments, the results suggest substantial growth improvements, raising the 10-year PI by 38 percent in the less productive Site Class III stand (Quebec 39), but only by 22 percent in the Site Class II stand (Quebec 31) with 2N + PK.

B.4 Northern Clay Forest Section

Three of the Quebec jack pine experiments were located in this section. These stands were of comparable age, but differed substantially in productivity between Site Classes I, II, and III (Plonski 1974). The soils were of fluvioglacial origin and varied in texture and drainage (Appendix I).

The PI of these jack pine stands varied around 48 m^3/ha when no fertilizers were applied (Table 3). The average growth was significantly increased by all treatments, which included N at the high rate. Total volume gains varied between 8.0 and 13.3 m^3/ha, corresponding to a relative increase of the PI by 16-27 percent (Figure 4). Comparison of N only and combination treatments indicates that P and K fertilizers had little or no effect on the average growth of these stands.

The results of statistical analysis of the individual experiments are shown in Appendix III.

B.7 Missinaibi-Cabonga Forest Section

Jack pine is represented by 12 installations in this section, which is located towards the southern fringe of the Boreal Forest in Quebec and Ontario. Several of these stands exhibited exceptionally good growth without treatment. All except one stand represented Site Classes I or II (Plonski 1974). Most of them were supported by coarse to fine sandy soils of fluvioglacial origin (Appendix I). As in the previous groups of jack pine installations, initial TV and PI at indigenous fertility were variable (Table 4) because of the large differences in age and stocking. The average PI of control plots ranked highest among the groups of jack pine stands included in the program.

The Missinaibi-Cabonga group showed, on the average, strong and statistically significant growth responses to N treatments at the high rate of application (Table 4). The average growth was increased above control by 11.1 m^3/ha or 17 percent (Figure 4) with 2N, and by a maximum of 18.3 m^3/ha or 28 percent with 2N + K. However, the difference in average growth of 2N and 2N + K treated stands was not statistically significant.

Analysis of individual data sets showed statistically significant treatment effects in 6 of the 12 installations (Appendix III).

B.11 Upper English River Forest Section

The group representing northwestern Ontario originally contained 6 stands, one was lost in the second 5-year period. They varied in age from 33-56 years and were all in Site Class II (Plonski 1974) except one (Table 2). All were located on rapidly and well-drained coarse to fine sands and loamy sand of fluvioglacial origin (Appendix I).

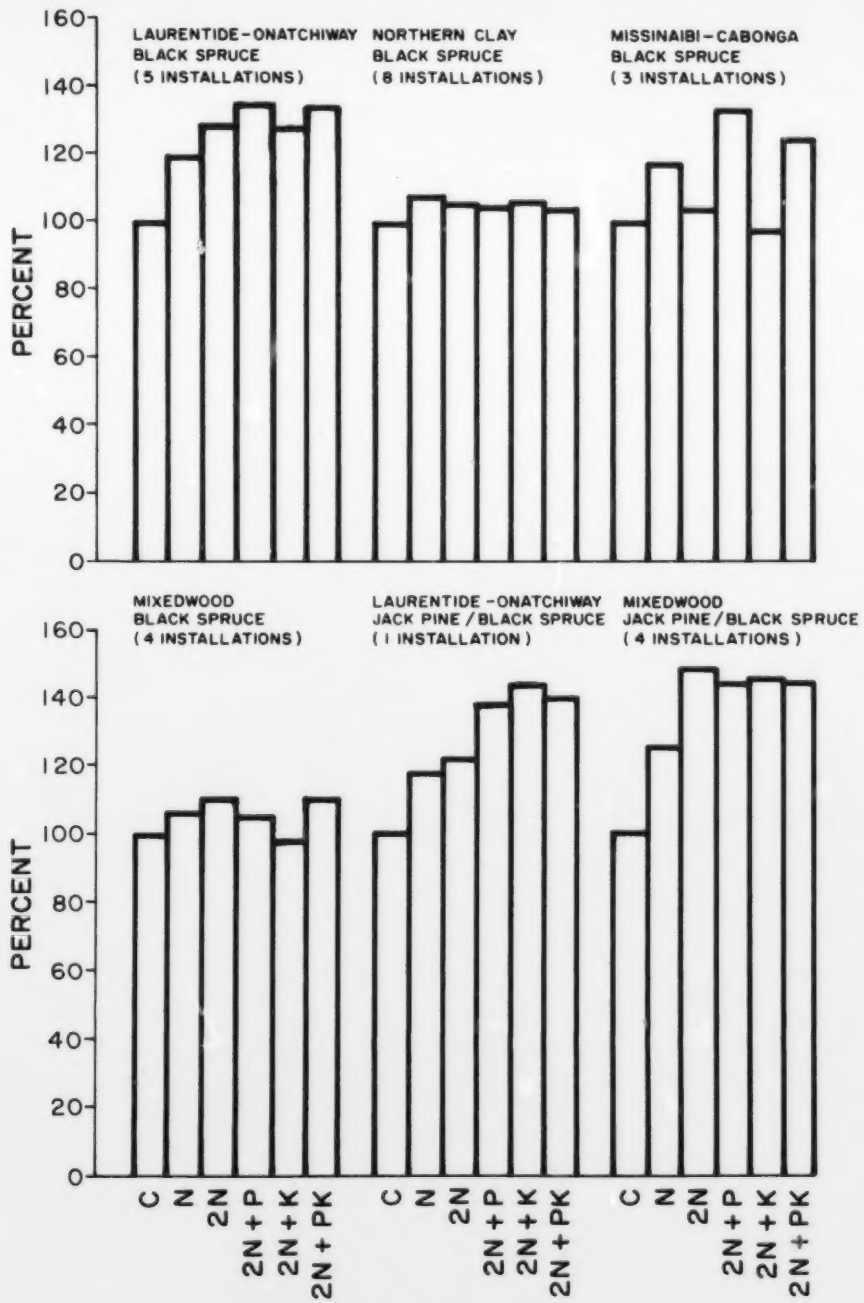


Figure 5. Relative fertilization responses for black spruce and black spruce-jack pine installations in selected Forest Sections.

Group treatment means indicate significantly improved growth with 2N + K additions (Table 5). The PI was increased by 16.2 m^3/ha or 25 percent. The highest average growth rate was shown by 2N + K treated plots (Figure 4), but the difference attributable to K was not statistically significant.

Only three of the six installations showed significant treatment effects when analyzed individually (Appendix III).

B.18a Mixedwood Forest Section

Three comparatively old jack pine stands with low site indices (Table 2), supported by well and moderately well-drained soils originating from reworked till, were selected for experimentation in this section. They were characterized by comparatively high initial volumes and variable current productivity (Table 5).

The jack pine stands of this section may have benefited from N treatments (Figure 4, Table 5). However, individual and group analysis did not indicate statistically significant treatment effects.

Summary

Jack pine growth was significantly improved with fertilizer treatments in most Forest Sections. Application of N only at the rate of 224 kg/ha resulted in average TV gains of 11.5 m^3/ha (Northern Clay), 11.1 m^3/ha (Missinaibi-Cabonga), and 10.5 m^3/ha (Upper English River), which corresponded to relative increases in the PI of 23, 17, and 16 percent respectively. In the Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga Forest Sections, the group treatment means suggest a greater response when P and K were added to N. Section treatments means as well as data from individual installations frequently showed largest growth improvement with combination treatments. However, multiple comparison of treatment means did not indicate significant differences between 2N and 2N + P, 2N + K, or 2N + PK.

All of the 28 installations exhibited growth rates above control with certain or all fertilizer treatments, but only 11 installations showed statistically significant treatment effects. This suggests that lack of experimental precision may have prevented a clear distinction between treatment effects and variations caused by uncontrolled factors in many trials.

The 10-year increases in m^3/ha were greater than the 5-year increases but the percentage increase over control periodic increment were lower. Most of the fertilizer response occurred in the first 5 years following treatment.

Black Spruce

Twenty-one experiments were set up in pure or nearly pure black spruce stands within the Boreal Forest Region of northern Quebec, Ontario, Manitoba, and Saskatchewan (Table 6). The following Forest Sections were involved: Laurentide-Onatchiway, Northern Clay, Missinaibi-Cabonga, and Mixedwood.

B.1a Laurentide-Onatchiway Forest Section

The five black spruce stands of this section varied in age from 47-80 years and represented Site Classes Ia, I and II (Plonski 1974). These stands were supported by well, moderately well, or imperfectly drained soils derived from till or fluvioglacial deposits (Appendix I).

The black spruce stands showed, on the average, a somewhat higher initial TV but lower 10-year PI than the jack pine stands of the same Forest Section (Tables 3 and 7). Fertilizer treatments improved growth significantly, the largest gain in TV being 11.2 m^3/ha or 34 percent with 2N + P (Figure 5).

B.4 Northern Clay Forest Section

Although located within the same Forest Section, the eight installations represented a very heterogeneous group of black spruce ecosystems. The soils were derived from fluvioglacial, lacustrine, and organic deposits, and from basal till. Drainage varied from moderately well to poor (Appendix I). The stands represented Site Classes I and Ia (Plonski 1974). With an age range of 51-75 years and large differences in stocking, the initial TV of the individual stands varied by a factor of five (Table 7). There was no clear pattern of response in this group of installations (Figure 5).

B.7 Missinaibi-Cabonga Forest Section

The three black spruce stands in this section were supported by well to moderately well-drained soils of fluvioglacial origin. The stands were of uniform age (41-45 years) and representative of Site Classes I and Ia (Plonski 1974) (Appendix I). Their initial TV varied widely (Table 8).

Average growth of the Missinaibi-Cabonga group was significantly improved with N addition at the 2N rates and with combination of N and P fertilizers (Table 8). High rate N application without P appeared to be ineffective.

The largest fertilization response of 13.4 m^3/ha resulted from the 2N + P treatment and corresponded to a relative increase of the PI by 35 percent (Figure 5).

B.18a Mixedwood Forest Section

Five black spruce stands, four from Manitoba and one from Saskatchewan, received installations; the one Saskatchewan installation was lost after the fifth year. They covered a wide range of age and site conditions (Table 6 and Appendix I). Three of the stands were supported by moderately well and imperfectly drained soils derived from morainal or lacustrine deposits, and the fourth stand was located on a poorly drained organic soil. All stands were comparatively productive (Site Classes I and Ia (Plonski 1974)) showing the highest PI of all the groups measured.

The three installations on mineral soils responded to most treatments, whereas the stand on organic soil was not responsive. The highest average growth increase was on 2N showing a PI of 5.4 m^3/ha or 10 percent (Figure 5).

Summary

Black spruce did not respond to fertilizer treatments as well as jack pine. Only in three of the 21 installations (Quebec 35, 36, and 37) and in two (Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga) of the four Forest Sections, was growth significantly improved above control. In the two Forest Sections, average TV gains were 6.3 and 7.0 m^3/ha with N addition at the low rate, and 9.1 and 11.1 m^3/ha with N addition at the high rate. Largest responses were shown for the 2N + P treatment, but differences between N or 2N and 2N + P were not statistically significant.

Jack Pine-Black Spruce

This group of installations includes stands in which the primary species comprises not more than 90 percent and the secondary species not less than 10 percent of the initial TV. Seven installations with mixed jack pine-black spruce were distributed throughout the Laurentide-Onatchiway, Northern Clay, Missinaibi-Cabonga, and Mixedwood Forest Sections (Table 6). The stands were located on rapidly to poorly drained soils derived from fluvio-glacial, till and lacustrine deposits (Appendix I). The stands of the Northern Clay and Missinaibi-Cabonga Forest Sections, judged from site indices (Table 6) and PI (Table 9), were characterized by high indigeneous productivity; the more easternly located Laurentide-Onatchiway stand and the stands of the Mixedwood Forest Section showed intermediate productivity.

Remeasurement of installations in the Northern Clay, Missinaibi-Cabonga, and Laurentide-Onatchiway Forest Sections showed consistently larger PI on fertilized plots than on control plots (Table 9), but the statistical analysis failed too show significant treatment effects (Appendix III).

The stands of the Mixedwood Forest Section responded to N application at both rates. The largest response was 20.2 m^3/ha or a relative increase in the PI of 49 percent (Figure 5), at the 2N rate. P and PK treatments did not give additional response.

When installations were analyzed individually, only two of the group of four showed significant treatment effects (Appendix II).

Comparison of the relative total volume increments by species in the mixed stands with significant treatment effects revealed that jack pine responded more vigorously to fertilizers than black spruce in the first 5 years. This trend was not apparent at the end of 10 years.

White Spruce

White spruce stands were selected for fertilizer trials in Nova Scotia, New Brunswick, and Alberta (Table 10).

The single trial in the Cape Breton-Antigonish Forest Section of Nova Scotia was located on a sandy loam of fluvioglacial origin (Appendix I). The stand had developed naturally on an abandoned field and was characterized by exceptionally high productivity. During the 10-year period it grew at the rate of 6.2 m^3/ha per year (TV) without treatment. This stand did not show significant response to fertilizer additions (Table 11).

The two Fundy Coast trials of New Brunswick were badly defoliated by spruce budworm; no reliable 10-year response data were available.

In the Mixedwood Forest Section of Alberta, plots were established in three stands of variable age on soils derived from strongly differing geologic materials (Table 10 and Appendix I). The productivity was high in all three stands (approximately 75 m^3/ha in 10 years).

The mixedwood white spruce stands responded well to N addition. At the high rate of application, the 10-year response was 12.0 m^3/ha (Table 11) or by 16 percent (Figure 6). Addition of N at the low rate and combinations of N with P and/or K did not improve growth significantly above control.

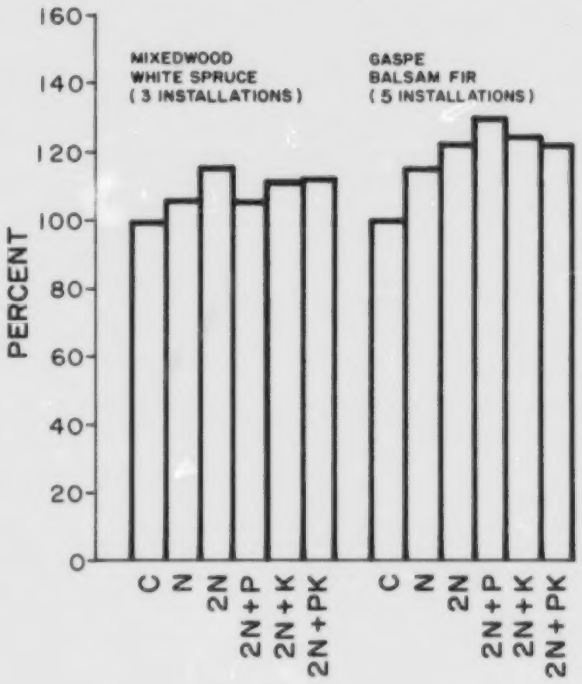


Figure 6. Relative fertilization responses for white spruce and balsam fir installations in selected Forest Sections.

Red Spruce

Red spruce trials were conducted in the Central Lowlands, Fundy Coast, and Atlantic Uplands of Nova Scotia (Table 10) on stands located on well-drained soils derived from basal or ablation till (Appendix I).

The red spruce stand of the Central Lowlands was characterized by initial high stocking. Nearly all treatments had higher growth rates than control (Table 11), but differences were not statistically significant. This stand suffered high tree mortality during the first 5-year response period (Appendix IV). The high volume losses may have lowered the experimental precision of this trial.

Red spruce of the Fundy Coast installation, which formed the youngest of the three stands, showed the lowest PI (Table 11). This stand was also heavily stocked and had appreciable tree mortality in some plots. A positive response was indicated for all treatments, but growth was significantly improved above control only with 2N and 2N + PK.

The red spruce stand on the Atlantic Uplands was moderately productive without fertilization. Growth may have been improved above control with 2N + PK treatment (Table 11), but this effect was not statistically significant.

Balsam Fir

Balsam fir fertilization trials were established by the provinces of Nova Scotia and Quebec. Five of the 14 stands were pure balsam fir. Others contained variable portions of black spruce, white spruce, and birch. Most of the stands grew on well or moderately well-drained soils developed from till (Appendix I). These stands varied in age from 45-62 years and represented Site Classes I and II (Vezina and Linteau 1968) (Table 10).

A.6 Cape Breton Plateau Forest Section

This installation was lost due to the spruce budworm epidemic on Cape Breton.

B.2 Gaspe Forest Section

One of the six stands was eliminated due to high mortality from budworm infestation.

The remaining balsam fir stands with a moderately indigenous productivity showed substantial growth increases with all treatments that included N at the high rate of application (Table 12). The 2N rate produced 9.9 m^3/ha extra growth in PI or a 21 percent increase (Figure 6). The maximum group response with 2N + P was 14.2 m^3/ha or 30 percent increase in PI. The Quebec 5 installation showed the greatest volume gain of 29.3 m^3/ha with 2N + P.

L.6 Temiscouata-Restigouche Forest Section

The single balsam fir installation had as high a productivity as stands of the previous group, but no apparent fertilization responses.

B.1a Laurentide-Onatchiway Forest Section

Three balsam fir stands were sampled, spruce budworm destroyed all of them (Table 10).

B.4 Northern Clay, B.7 Missinaibi-Cabonga, and L.9 Timagami Forest Sections

The three balsam fir installations in western Quebec showed a generally lower productivity than the eastern stands. Improved growth was suggested with some or all treatments, depending on installation (Table 12), but differences between control and treated plots were statistically not significant. The 10-year response period generally coincided with a severe budworm infestation in western Quebec that presumably has resulted in a generally reduced productivity and may have introduced excessive within-treatment variation.

Fertilizer Treatments and Tree Mortality

The averaged 10-year periodic mortality losses by species are presented in Table 13. For the control plot the values range from 11 to 55 m^3/ha as compared to net increment ranges of 16 to 97 m^3/ha. Installations were placed in fully stocked stands, many had higher than normal density and stocking as defined in the yield tables (Plonski 1974; Vezina and Linteau 1968). As a result, natural tree mortality occurred on all plots. Volume losses varied widely with cover type and installation (see Appendix IV). Values ranged from 1.5 to 105 m^3/ha for individual installations.

Some of the patterns of mortality noted in the 5-year report are still evident: 1) notably that 10-year mortality losses represent a very large portion of the control plot increment; 2) that mortality losses could be as great as, or more than, fertilizer gains for some installations; and, 3) there was some evidence for greater mortality caused by treatment, but there were no significant differences (Table 13).

Figure 7 presents the average gross and net volume increments for the 10-year period by species. The net increment gains for the period are still positive for jack pine, jack pine/black spruce, and white spruce installations. Mortality losses for the period were so great for black spruce, red spruce, and balsam fir installations that there was little or no net increment.

Only the jack pine installations show an interesting averaged net gain of commercial interest resulting from fertilizer treatment (5-12 m^3/ha); for the other species net fertilizer gains, even if present, are totally masked by much greater periodic volume losses due to tree mortality. The net increment picture for the 10-year period is much worse than the 5-year period for black spruce, red spruce, and balsam fir.

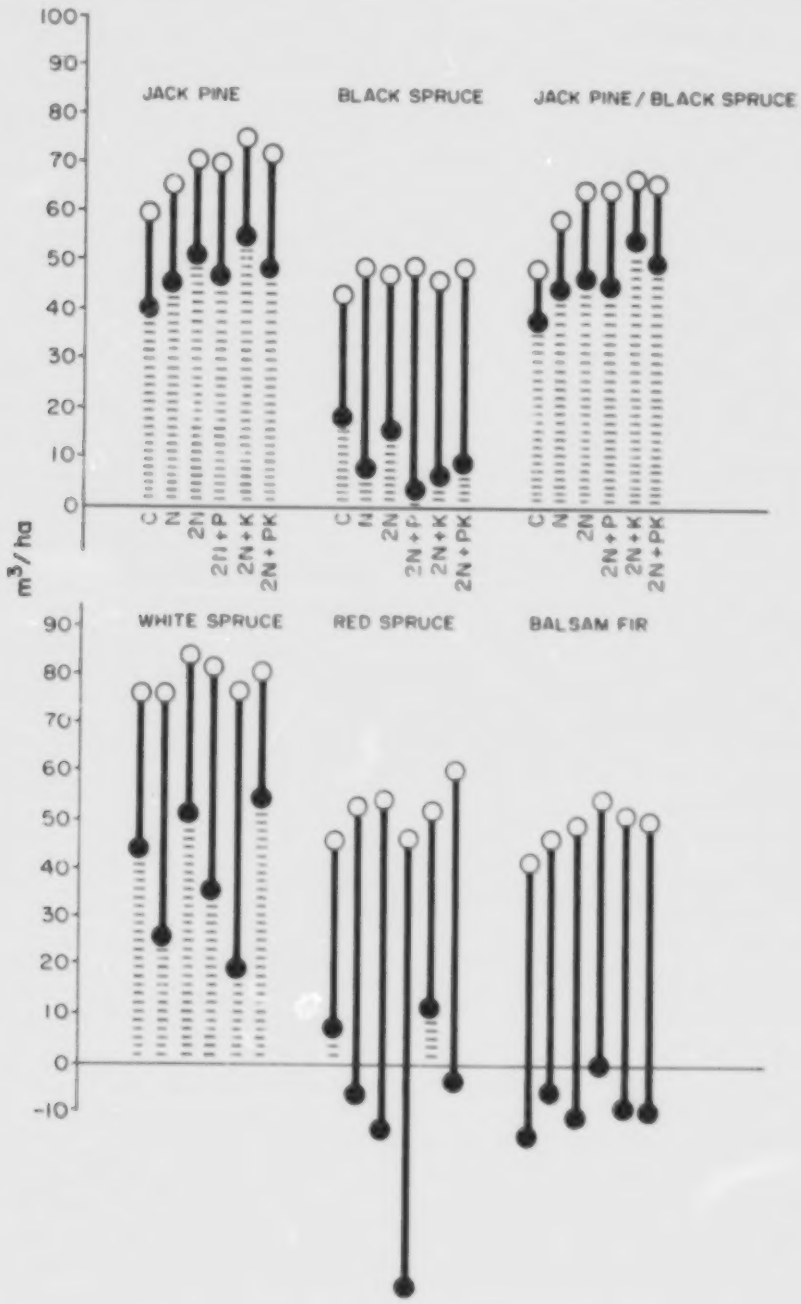


Figure 7. Gross (○) and net(●) total volume increments by species and treatment during the first 10-year period following fertilizer applications. Solid line between the two points gives mortality.

Fertilizer Treatments and Ingrowth

After 5 years the data suggested that ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction of various cover types may have been accelerated by most fertilizer treatments. After 10 years this trend no longer existed.

Five-Year Periodic Increment and Fertilization Response as Affected by Stand Condition

The experimental stands varied widely in age, site index, initial stocking, and volume. These variables reflect past stand productivity and have presumably affected increments during the 5-year experimental period. Furthermore, these variables have probably modified responses to fertilizer treatments. To quantify possible interrelationships between 5-year PI, fertilization response, and stand variables, data from pure jack pine and black spruce stands were subjected to multiple regression analysis.

Approximately 60 percent of the variation in the PI of jack pine on control plots (Plo) of the 29 installations was accounted for by differences in basal area (BA) and age (A).

$$Plo = 0.17 + 0.98BA - 0.34A \qquad R^2 = 0.58 \qquad (1)$$

In equation (1), Plo is given in m^3/ha, BA in m^2/ha, and age is in years. As would be expected, the PI increased with BA and decreased with age. This interrelationship was significant at the 1 percent level of probability (P = 0.01). Total volume and site index did not contribute significantly to the regression of Plo in jack pine stands.

The statistical analysis showed various levels of correlation between response (ΔPI) of jack pine and stand variables. However, the regression of ΔPI was significant (P = 0.05) for only one treatment, 2N + K.

$$^{\Delta PI}2N + K = 12.34 + 0.06TV - 0.24A \qquad R^2 = 0.33 \qquad (2)$$

Equation (2) predicts an increase in response of 6 m^3/ha with every additional 100 m^3/ha of standing volume at constant age. The response will probably decrease with increasing age. However, initial TV and age accounted for only 33 percent of the observed variation in jack pine response to 2N + K treatments. Site index and BA did not contribute significantly to the regression of $^{\Delta PI}2N + K$.

The analysis of black spruce data revealed a low correlation (R^2 = 0.42) between the PI on unfertilized plots and the four stand variables previously tested with jack pine. Responses to N were not significantly related to stand variables, but apparently, responses to fertilizer treatments that included P and K were dependent in part on stand conditions.

$$^{\Delta PI}2N + K = 0.1 + 0.82BA - 0.1TV - 0.09A \qquad R^2 = 0.52 \qquad (3)$$

The three stand variables, BA, TV, and age, accounted for 52 percent of the observed variation in response of black spruce to 2N + PK. Site index did not make an important contribution to the regression. As with jack pine, the response to fertilizer addition decreased with increasing age. At a given BA, response would be expected to decrease with initial TV. High TV may reflect old stand age, high site quality, or both, when a response to fertilizers is less likely to occur. Equation 3 was significant at P = 0.01.

Five-Year Periodic Increment and Fertilization Response as Affected by Foliar Nutrient Levels

Foliar nutrient data were available for all Quebec installations, a few jack pine and black spruce installations in Ontario, and several white spruce installations from New Brunswick and Alberta. The jack pine and black spruce installations with foliar nutrient data were subjected to regression and correlation analyses to determine interrelationships between Plo and foliar nutrient contents, or fertilization response and foliar nutrient contents.

The PI of jack pine on unfertilized plots showed weak correlations with foliar concentrations of the five nutrient elements determined. Simple correlation coefficients (r) varied from 0.43-0.56. In multiple regression analysis, approximatly 60 percent of the variation of Plo in jack pine was explained by difference in concentrations of foliar N, P, K, Ca, and Mg. The regression of PI on foliar nutrient contents was statistically not significant because of the low number of installations available for this analysis.

A significant relationship existed between jack pine response to the 2N treatment and foliar nutrient levels.

$$^{\Delta PI}2N = 0.37 - 25.2N + 159.3P - 41.9K - 3.4Ca + 363.4Mg$$
$$n = 12 \text{ plots} \qquad R^2 = 0.80 \qquad (4)$$

Concentrations of foliar N, P, K, CA, and Mg explained 80 percent of the variation in the response to this treatment. Omission of Ca barely changed the coefficient of determination (R^2 = 0.80). Stepwise multiple regression analysis further singled out Mg and K as the most important variables.

The prominent role of Mg in the regression of $^{\Delta PI}2N$ is difficult to explain. The experimental design did not include Mg in the treatments. Hence, it cannot be established that the regression component relating to Mg reflects a cause and effect relationship or that Mg simply is a variable closely associated with the one that actually controls fertilization response. However, Morrison et al. (1976a) carried out an experiment in northern Ontario that included application of Mg. They reported minor, but statistically not proven responses to Mg when it was applied with N and P at certain application rates.

The regression of $^{\Delta PI}2N$ on foliar nutrient levels of jack pine was significant at the 5 percent level. Regressions of jack pine responses to 2N + P, 2N + K, and 2N + PK on foliar nutrient levels were not statistically significant. Regressions of black spruce responses on foliar nutrient levels also were not significant.

Site, Five-Year Periodic Increments, and Fertilization Response

The site of each individual trial was characterized when plots were established. Principal site variables included were slope, origin, and texture of the soil parent material, soil drainage, rooting depth, and composition of the group cover vegetation (Appendix 1).

Interrelationships between PI or response to fertilizer treatments and site variables determined in the field could not be quantified during analysis of the data for this report. The selected site factors may not have played an important role in controlling growth and fertilization response, and furthermore, site descriptions were made by different investigators in each of the eight participating provinces. Subjectivity is unavoidable in this type of assessment and may have contributed to the apparent lack of statistically significant relationships between fertilization response and site data.

Discussion

Response to Nitrogen

After 5 years, growth improvements were significant in 9 of the 14 groups of installations in different Forest Sections and 16 of the 81 individual installations with application of N only. Responses were more frequent and the size of response tended to be greater with 2N (224 kg/ha) than N (112 kg/ha). Responses also varied with cover type and Forest Section, but no consistent pattern was revealed.

After 10 years, growth improvements were still significant in 8 of the 14 groups for the application of N over control.

Magnitude of Response

Jack Pine

Ten years after treatment, 13 of the 28 installations had statistically significant responses. Four installations reached significance between the fifth and tenth years. When all jack pine installations are averaged (Figure 7), the net volume gain is about 5m^3 for 112 kgN/ha and 6-15 m^3 for 224 kg/ha. Individual installations with significant treatment effects showed large variation in response: -6 to + 16 m^3/ha for 112 kgN/ha and -7 to + 28 m^3/ha for 224 kgN/ha. The 10-year response variation in net volume was much greater after 10 years than 5 years. The 5-year comparative values were 0.8 to 3.2m^3/ha per year and 1.3 to 3.8 m^3/ha per year respectively. Negative increments after 10 years were due to tree mortality.

Morrison et al. (1976b, 1977a, 1977b) reported increases in the 5-year periodic increment (PI) as low as 6.0 and in excess of 12.5 m^3/ha with 200-250 kg/ha of N. These authors suggested the existence of an inverse relationship between fertilization response and site quality.

Hoyt (1973) found increases in the periodic annual increment (PAI) of approximately 1.5 m^3/ha in two New Brunswick semimature jack pine stands during the first 5-year period following application of 168 kg/ha of N. He pointed out that these stands represented Site Class I, and he expected greater increases of the PAI for stands of lower site quality. The data from the interprovincial trials have not revealed a quantitative relationship between site index or current increments and fertilization response.

Nitrogen fertilization of soils supporting jack pine plantations in the pole stage yielded similar increases of PAI as reported for natural stands (Leech 1969; Timmer and Morrow 1980).

Ten-year jack pine response data reported by Weetman and Fournier (1984a, 1984b), Groot et al. (1984), and Morrison et al. (1981) for individual stands show response somewhat higher than the average values for 28 stands reported here.

Black Spruce

In black spruce installations with significant N effects, after 5 years the PAI was increased by 1.1 m^3/ha or 27 percent (Quebec 35) with 112 kg/ha and by 2 m^3/ha after 5 years or 76 percent (Quebec 36) with 224 kg/ha of N. In the Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga Sections, average responses were 1.0 and 0.3 m^3/ha per year (22 percent and 8 percent) with the high rate N application.

After 10 years the 112 kg/ha treatment in three significant installations gave a range of 4 to 12 m^3/ha of net volume and the 224 kg/ha treatment produced -13 to + 26 m^3/ha: when all the 21 black spruce installations are averaged, fertilizer treatments produced a net loss in 10-year increment as compared to controls because of higher mortality on treated plots (Figure 7).

In comparison, van Nostrand (1979) reported increases in the PAI of 2.3 and 2.6 m^3/ha (74 percent and 102 percent) over a 9-year period with split application of 202 kg/ha of N to two black spruce stands in Newfoundland.

Fertilization experiments at two black spruce sites in New Brunswick showed an annual fertilization gain of 1.0 m^3/ha for both sites over the first 5-year period following application of 168 kg/ha of N. The corresponding relative responses were 18 percent and 29 percent respectively (Krause 1981). Weetman et al. (1980) reported similar response in upland black spruce of Quebec with an N application rate of 112 kg/ha and a two-fold increase when N was added at the rate of 448 kg/ha. The fertilization effect in a black spruce trial in northern Ontario (Morrison and Foster 1979) was comparable to the New Brunswick results. A 150 kg/ha application of N increased the 5-year PAI by approximately 0.9 m^3/ha or by 14 percent. Lower relative growth responses to N were indicated by the initial results of trials in black spruce plantations of northern Ontario (Timmer and Morrow 1980).

Independent studies have indicated that N shortages are common in middle-aged and near-mature black spruce stands of eastern Canada. The variable response to similar amounts of fertilizer N may be caused by differences in stand conditions (see equation [3]) and levels of indigenous soil fertility. Furthermore, independent studies and interprovincial trials have shown that volume gains per unit weight of added N would tend to be lower in black spruce than jack pine stands.

Several explanations are available for the low frequency of significant fertilization effects in black spruce stands of the interprovincial trials. The program included a number of old stands where response is less likely to occur, according to equation (3). Several sites were characterized by excess water and others may have had indigenous nutrient supplies high enough to meet the requirements of the stand. Finally, although not statistically significant, growth was higher on N-treated plots than control plots of 16 of the 21 installations after 5 years and 12 of the 21 after 10 years. Thus, true N effects were probably obscured by large within-treatment variation in many installations and large mortality losses in the dense stands.

White Spruce

The average 5-year PAI of the three Alberta white spruce stands was increased by 2.4 m^3/ha. This was among the highest responses in the interprovincial and independent fertilization trials. After 10 years two of the stands showed a large response. In contrast to the results of the Alberta trials, N only treatments failed to stimulate growth in a predominantly white spruce stand of northern Ontario (Morrison and Foster 1979). This stand had a gross PAI of approximately 9 m^3/ha and confirms the authors' observation of low fertilization responses in high-vigor forests. This explanation could also be applied to the productive Nova Scotia white spruce trial that failed to show significant treatment effects.

Red Spruce

Little information is available for this species from independent experiments. At a central New Brunswick location, a semimature stand with red spruce predominating, responded to a N treatment of 168 kg/ha with a 5-year increase in the PAI of 1.8 m^3/ha or 50 percent (Krause 1981). This is considerably higher than the 2N response of red spruce (1.2 m^3/ha per year) in the Fundy Coast Section (Nova Scotia 4), the only interprovincial red spruce trial with significant treatment effects.

Balsam Fir

In the balsam fir installations with significant N effects, the 5-year PAI was increased by 2.1 m^3/ha at the low rate of application (Quebec 5) and by 3.1 m^3/ha at both the low and high rate application (Quebec 6). In the group of six stands from the Gaspe Section, an average increase in the PAI of 1.9 m^3/ha was observed. A similar response was reported by Gagnon et al. (1979) for another balsam fir stand in Quebec. The PAI was increased by 1.3 m^3/ha over a 10-year period following application of N at the low rate of 112 kg/ha.

Lower gains from N treatments were recorded in several New Brunswick experiments. The PAI was significantly increased by 0.9 and 0.5 m^3/ha through the first 5-year period following application of 168 kg/ha of urea N in pure and mixed balsam fir stands respectively (Krause 1981). One stand represented a productive site where N shortage was probably not severely limiting growth. Another stand had suffered budworm damage. At another balsam fir site in New Brunswick (Hoyt 1973), application of 168 kg/ha of N did not increase growth significantly.

Many balsam fir trials were affected by spruce budworm attack which undoubtedly modified growth and fertilization response in these stands. The interprovincial and independent trials do not suggest that trees on fertilized soil are more resistant to the insect. The small plots of conventional experiments are readily infested. However, Sheedy's (1977) observations are of special interest; a 120-ha watershed, aerially fertilized with N, remained free of noticeable budworm damage despite the presence of the insect in the adjacent forest.

Application Rate

Forest fertilization has yielded typical response curves showing diminishing returns with increasing application rates until a maximum in productivity is reached, then growth declines when application rates are increased beyond this point (Malm and Moller 1974; Morrison et al. 1976b). The interprovincial trials with their three levels of N do not allow response curves to be drawn. However, some aspects relating to application rate are worth discussing. The 5-year response data set is used. After 10 years the differences between the 112 and 224 kg/ha rates were much more variable.

For all installations with significant treatment effects, average responses of jack pine to N (112 kg/ha) and 2N (224 kg/ha) amounted to 10.1 and 12.7 m^3/ha respectively, or 9.0 and 5.6 m^3 of wood for every 100 kg of N added. In the Upper English River group of jack pine stands, the average increases in PI with N and 2N were 7.5 and 10.8 m^3/ha respectively, which corresponded to 6.6 and 4.8 m^3 of wood per 100 kg N. The rapidly diminishing returns from the applied fertilizer suggest that the observed volume gains with 224 kg/ha of N are close to the maximum response. This observation agrees with the data of Morrison et al. (1976b) who recorded maximum fertilization gains in a jack pine stand with 224 kg/ha and a decline in response with the application of 448 kg/ha of urea N. Therefore, application rates exceeding 224 kg/ha of N may not be warranted in jack pine stands. In operational fertilization, application rates below 200 kg/ha of N would be preferable because of rapidly diminishing returns above 112 kg/ha.

The individual black spruce installations with significant N effects showed responses of 4.5 and 5.4 m^3/ha to N addition at the low rate and 10.1 m^3/ha to N addition at the high rate. However, in the Laurentide-Onatchiway group of black spruce stands, the average PI for the 2N treatment exceeded the PI for the N treatment by only a narrow margin. For the Missinaibi-Cabonga installations, the average response to 2N was lower than the response to N. Thus, it is not clear whether application rates above 112 kg/ha of N are warranted. Morrison and Foster (1979) found no additional response in a black spruce stand when application rates were increased above 150 kg/ha of N. However, Weetman et al. (1980) reported that the response of a black spruce stand in Quebec to 112 kg/ha of N was doubled when the rate of application was raised to 448 kg/ha. Apparently the high rate urea application accomplished more than simply supplying additional N. It may have altered chemical, physical, and biological properties of the forest floor, resulting in greater availability of indigenous N and increased rates of nutrient cycling (Weetman et al. 1980).

The balsam fir data from the interprovincial trials with significant treatment effects also do not support the use of high N application rates. In the group of white spruce stands of the Mixedwood Section, the second increment of N appears to have resulted in a notable volume gain (Table 11). However, the data are inconclusive and a dosage trial is required to clearly show the effect of application rate on response.

Nitrogen Carriers

In the interprovincial trials, urea was used as the N carrier because it has been the preferred N source in operational fertilization in North America (Bengtson 1976). In the late 1960s and early 1970s, Scandinavian researchers demonstrated that ammonium nitrate produced a greater response in Norway spruce and Scots pine per unit weight N than urea (Malm and Moller 1974). As a result, ammonium nitrate had replaced more than 50 percent of urea in forest fertilization in Sweden by the early 1970s (Bengtson 1976).

Various reasons have been suggested for the superiority of ammonium nitrate. Application of urea during warm and dry weather may be followed by excessive volatilization losses of NH_3, especially on coarse soil with a thin forest floor (Carrier and Bernier 1971; Bernier et al. 1972); fixation and immobilization of urea-N may be caused by raw humus of the forest floor (Overrein 1970); and retarded hydrolysis of urea because of a lack of urease (Brantseg 1967).

On the North American continent, ammonium nitrate was found to be initially superior to urea in a jack pine fertilization experiment in Quebec, but after 10 years there was no significant difference with ammonium nitrate, urea, and calcium nitrate at two dosages (Weetman and Fournier 1984b). In experiments with Douglas-fir in Oregon, ammonium nitrate appeared superior (Harrington and Miller 1979). In contrast, Morrison et al. (1976a) were unable to detect a difference between responses of jack pine to ammonium nitrate and urea in northern Ontario. The extensive studies in pine forests of the southeastern United States also failed to reveal major differences between the effectiveness of urea and ammonium nitrate and N carriers (Bengtson 1976). A further disadvantage of ammonium nitrate is in the relative greater mobility of the nitrate ion, which may move through the soil and result in increased groundwater contamination.

The more recent work of Camire (1980) with young jack pine forests in Quebec has shown ammonium sulphate to be superior to urea in treatments applied in autumn. This observation further complicated the choice of N carriers. Additional information is required before a forest manager can choose rationally between the commonly used N carriers. Current commercial fertilization in British Columbia uses urea because of the cost and payload advantages over ammonium nitrate per kilogram of N applied.

Inconclusive Phosphorus and Potassium Effects After Five Years

In the first report on 5-year results of the interprovincial program (Weetman et al. 1976), N was shown as the only proven treatment or treatment component to be generally effective in promoting tree growth, although maximum growth usually occurred on plots with the combination treatments of 2N + P, 2N + K, or 2N + PK. This general pattern of response is still evident after evaluation of all 81 installations. In several installations, significant growth increases were shown for 2N + P, 2N + K, and 2N + PK treatments, but not for N only treatments.

It is expected that, following the principle of limiting factors, deficiencies of one or several additional nutrient elements would develop as the supply of N is increased. Foliar analysis has shown low levels of P or K, in addition to low levels of N, in several installations. Furthermore, P was an important factor in equation (4) relating jack pine response to initial foliar nutrient levels. The interprovincial trials have not proven, however, that growth limitations due to P and K shortage exist in the various Forest Sections covered by this program.

Morrison et al. (1976a) and Morrison and Foster (1979) observed a similar response pattern in their forest fertilization studies with jack pine and black spruce of northern Ontario. Factorial experiments conducted in jack pine, black spruce, mixed spruce and balsam fir, and pure balsam fir stands of New Brunswick with two levels of N, P, and K also showed frequent growth improvement with P or K, but statistically significant interactions were not evident: only N produced a statistically significant main effect (Hoyt 1973; Krause 1981). Another example of notable but statistically not significant volume accretions after P application are the black spruce trials by van Nostrand (1979) in Newfoundland.

Evidence of improved growth through a N and P interaction was given recently by Morrison and Foster (1979). Their data from a factorial experiment in a mixed spruce and fir stand indicated a TV gain of 11.1 m^3/ha with combined N and P treatment, but negative effects when either one of the elements was used separately.

Finnish experience has indicated that P applied in combination with N may sometimes prolong N fertilization effects (Viro 1971).

The uncertainty of presently available information on the roles of P and K in forest fertilization requires that additional experiments be conducted.

Fertilization Efficiency

A useful value in planning and evaluating forest fertilization programs is the amount of fertilizer required to produce a unit volume of wood. This is a measure of fertilization efficiency.

Jack pine installations with significant responses to N (112 kg/ha) and 2N (224 kg/ha) exhibited TV gains of 4.2-15.9 m^3/ha and 6.6-19.0 m^3/ha respectively. These values, corresponded to a N fertilizer requirement of 7.0-26.7 kg/m^3 and 11.7-34.9 kg/m^3 of wood. For black spruce installations with significant growth responses, the N fertilizer requirements were 20.7 and 25.9 kg/m^3 at the low application rate and 22.2 kg/m^3 at the high rate. In balsam fir stands ratios ranged between 22 and 44 kg/m^3. After 10 years more fertilizer response developed, but so did the variability in the response. The ranges of fertilizer efficiencies indicated also increased over the 5-year response set. After 10 years, periodic increment data based on dbh measurements in dense stands are not as sensitive as 5-year data when most of the response occurs in the first 5 years.

Accurate assessment of 10-year fertilizer efficiencies would require increment core data. The jack pine and black spruce ratios are generally comparable to Swedish observations. Scots pine and Norway spruce have shown average N requirements of 23 and 27 kg/m^3 respectively, for wood produced with urea fertilization at the rate of 224 kg/ha of N (Jonsson 1977).

The regional forest nutrition studies with Douglas-fir in the Pacific Northwest are of special interest regarding fertilization efficiency. Nitrogen requirements for additional wood produced within 4 years after urea fertilization at 224 and 448 kg/ha were only 12 and 22 kg/ha. Presumably a requirement for high efficiency is the recycling of applied fertilizer nutrients. Nutrient cycling in general occurs more expediently in the climatically favoured Douglas-fir region of the Pacific region than in the boreal regions of Canada and Scandinavia, and faster in pine than in spruce forest ecosystems (Krause et al. 1978).

The Swedish data (Figure 8.) indicate a strong dependence of fertilization efficiency on rate of fertilizer application. Using a 5-year response basis, the amount of fertilizer N required to produce one m^3 of wood in Scots pine was lowest at approximately 180 kg/ha, and increased rapidly above 250 kg/ha. Forest productivity trials in British Columbia indicated a 6-year fertilizer efficiency of approximately 10 kg/m^3 for 225 kg/ha urea applications on a wide range of Douglas-fir sites. The 12-year response on the low site Douglas-fir Shawnigan experiment indicates efficiency as high as 4 kg/m^3. With Norway spruce, the amount of N required to produce one m^3 of wood increased about linearly at application rates from 120–600 kg/ha. Because response does not usually terminate within 5 years, the Swedish data indicate higher fertilization efficiencies when rated on a 10-year basis. In addition, maximum efficiency shifts slightly to higher application rates with a 10-year rather than a 5-year basis.

With current (1985) aerial urea application costs at about $1 per kilogram N applied, the efficiency figures indicate the direct cost per cubic metre of extra wood produced by fertilization.

Response Prediction

Prediction of fertilization response is the principal reason for most field experimentation. Rosvall (1979) developed a response prediction model, based on Scandinavian experience, in which the site index is a key factor. Absolute and relative responses are expected to decrease as site index increases.

In the interprovincial trials, site index did not contribute significantly to the regression of fertilization response. Among the stand factors, age and initial BA and TV were the most important variables (see equations [2] and [3]). However, the regression models, based on stand factors, had low precision and cannot be used for response prediction. Foliar analysis seems more promising. According to equation (4), fairly accurate fertilization response in jack pine to N treatment may be predicted from the foliar concentrations of the commonly determined macro-elements. The development of reliable prediction models resembling the Swedish example in complexity (Rosvall 1979) would require additional trials as well as systematic studies of nutrient behavior in plant and soil.

Measurements of leaf weight and nutrient contents one year after treatment appear to be a shortcut to the long period (5–10 years) of empirical testing of stand responsiveness. Such an approach in fertilizer screening trials has been tried for jack pine (Timmer and Morrow 1984) and lodgepole pine (Weetman and Fournier 1982).

Economic Considerations and Implication of Results to Forest Management

Fertilization may be evaluated at the "stand level" and at the "forest level." The interprovincial trials have been predominantly concerned with stand level benefits, i.e., the production of additional wood at given locations.

Nadeau (1977), using the results of some of the interprovincial jack pine trials, calculated direct and indirect fertilization benefits from government and corporate viewpoints. The rate of return in current dollars was positive, varying between 3 percent and 12 percent.

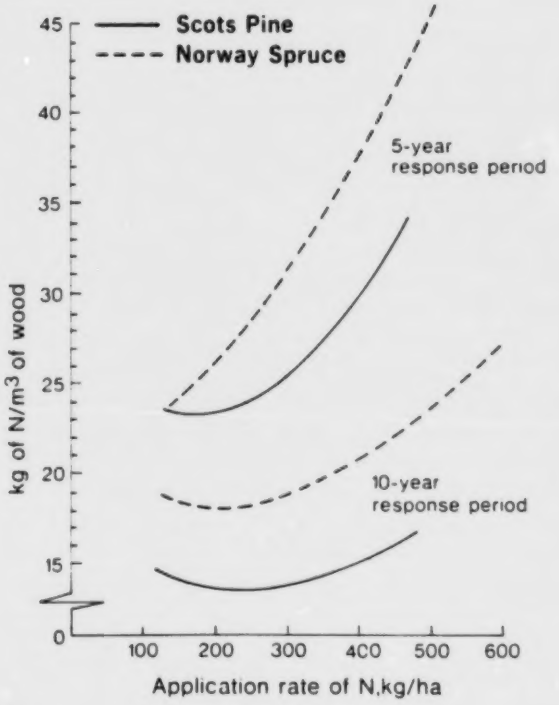


Figure 8. Amount of urea N required to produce one m^3 of wood (total volume) by Scots pine and Norway spruce as a function of application rate (redrawn from Jonsson 1977).

Tucker (1974) showed in detailed economic analysis of fertilization results in northwestern Ontario that treatment of jack pine may be financially attractive to provincial governments if the value added in manufacturing is used to calculate the present worth of additional wood, and if a shortage of wood exists at the time the fertilized stands are harvested. Tucker further showed that profits may be increased if the anticipated additional annual increment is harvested each year (allowable cut effect) because this would reduce interest charges.

However, the actual values given by Tucker for net present worth must be viewed cautiously as they are based on the early response in experiments that normally last 10 years. Furthermore, interest rates and the values of fertilizers, raw wood, and manufactured products have changed greatly during the last few years. Thus, economic evaluation must be made individually for each fertilizer treatment and updated as key parameters change with time.

In many regions the main incentive for forest fertilization has been to reduce problems caused by age-class gaps. One alternative for the forest manager faced with such problems is to use fertilizers to rapidly increase the growth of younger stands. When combined with thinning, forest fertilization may provide a value return that is particularly high and can be considered a "strategic value" (Canadian Forestry Service 1973). The present $19 million forest fertilization program in British Columbia is based on these considerations.

Difficulties in realizing this important benefit from forest fertilization in many parts of Canada appear to be:

1. Lack of development in strategic forest management planning,
2. Poor species utilization and low quality growing stock,
3. High risk problems associated with windthrow and insect losses in unmanaged forests,
4. Extensive reserve growing stock of overmature forests,
5. Low royalty or appraised stumpage charges on public lands,
6. Lack of incentive for timber growing on public land,
7. Regional forest economics dominated by low value pulpwood and pulp chip markets.

As the local wood supply becomes tighter and some of the above constraints are relieved, the attractiveness of forest fertilization will increase.

Deficiencies in the Interprovincial Trials

When choosing the experimental design, it was hoped that two treatment replicates on carefully established plots, with trees measured and remeasured at 1/100 inch (0.25 mm) of diameter, would provide sufficient sensitivity to detect reliable treatment effects. Apparently this has not been achieved with many installations (Figure 9). Higher experimental precision, probably attainable with a large number of treatment replicates, would have been required to prove the effects of P and K additions. According to the experience of the field crews, it was difficult to locate stands sufficiently uniform and large to meet the requirements of the simplified design.

High tree mortality greatly reduced experimental precision in many installations. With the high levels of stocking, excessive volume loss from natural tree mortality should have been expected because pole-sized and semimature natural stands in which stocking has been controlled are rare in Canadian forests. Another important factor is that tree crowns do not develop in overstocked stands following fertilizer treatment. Fertilization potential can be fully realized only when combined with thinning (Jonsson and Moller 1976).

The unfortunate coincidence of the trials with the onset of the spruce budworm epidemic has led to a loss of data in balsam fir and white spruce installations.

After 10 years the short term responses to fertilization noted in the 5-year report have been masked by subsequent stand growth and mortality. The smaller additional response which occurred after the 5-year plot remeasurement has been increasingly difficult to deduce statistically because of the increasing "noise" in the experiments due to subsequent stand growth.

The 10-year periodic mortality losses in these fully stocked unmanaged stands of natural origin are very large, so large that except for jack pine, they mask the fertilizer effects.

Testing stands for fertilizer response over huge areas of Canada where there are few middle-aged stands with density control inevitably means large variability in net increment figures because of periodic mortality. Although it is doubtful that dense, middle-aged, unmanaged stands undergoing major mortality losses are likely candidates for commercial fertilization, realistically these are virtually the only homogenous stands available for testing in this age class.

It is of considerable scientific and practical interest to know if these sites and species are responsive to fertilizer additions. Using conventional plots and diameter measurements to obtain net volume increment for only two replications of each treatment are clearly not sufficient to handle the huge variation. The 10-year data for each installation show much loss of statistical significance as compared to the 5-year data set. However, besides formal sets of analyses of variance and multiple range tests, sequence and magnitude of net volume response by treatment are also indicative of responsive stands.

Using these sequence and magnitude criteria, it is clear that most of the stands were indeed responsive to N additions.

Increment core data are not only a more accurate way to detect tree response, but also provide the pattern of annual response developments. The comparison was done on the Quebec 40 installation in jack pine; periodic dbh measurements did not show significance response after 10 years, but increment core measurement did show response (Weetman and Fournier 1984b).

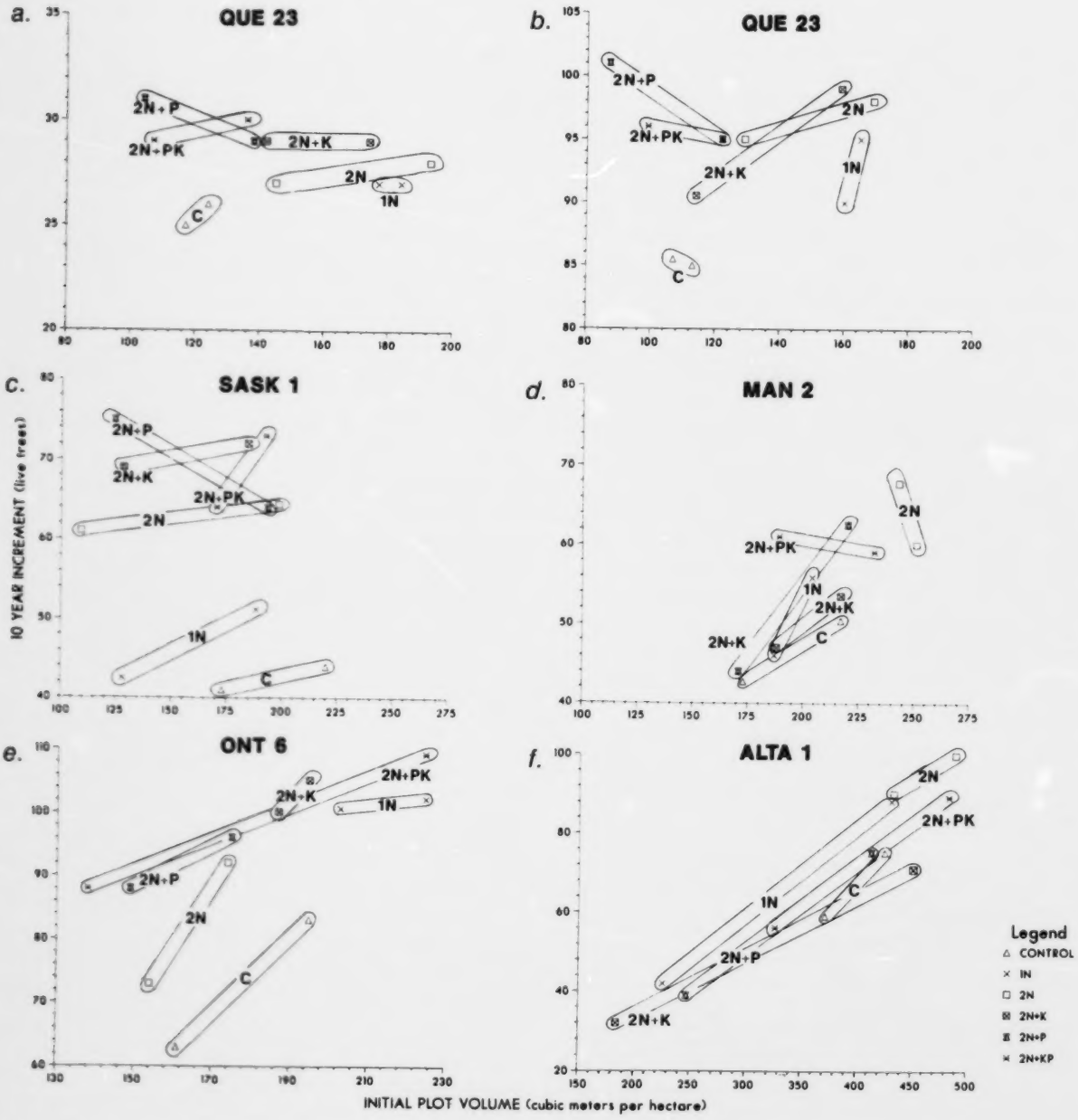


Figure 9. Examples of between plot response variation: Initial total volume and 10 year increment of live trees (m^3/ha).

a/b 5-and 10-year response in 38-year old jack pine, SI_{50} = 17. Most response occurs in first 5 years.

c 85-year old jack pine stand showing increased 10-year response to N^1 over N^2 and a trend for further increases with P and K additions raising P.A.I. to 7.0 m^3/ha.yr with SI_{50} = 9.1 m. Uniform stand, good replicate agreement.

d 70-year old jack pine stand showing response to N additions and a trend for more growth with increasing stand volume, adjustable by covariance analysis, SI_{50} = 12.5.

e 40-year old jack pine stand showing N_1 producing same 10-year response and N_2 at P.A.I. 9.5 M^3/ha.yr., SI_{50} = 16.

f 90-year old white spruce stand on herb rich, silty lacustrine soil, SI_{50} = 14.6 showing no response to fertilization and very large between plot variation. Response is unlikely on such rich sites, but it presents the need of many treatment replications for detection to overcome stand heterogeneity.

Summary and Conclusions

1. After 5 years jack pine responded significantly to fertilizer treatments in five of seven Forest Sections and in 13 of the 29 installations. Although recorded growth was highest with combination treatments of 2N + P, 2N + K, or 2N + PK in most cases, the differences between N only and combination treatments were always statistically not significant. In installations with significant N (224 kg/ha) effects, PI were increased by 6.6-19.1 m^3/ha. Ten years after treatment, the averaged values by species showed that only jack pine had 5-15 m^3/ha net volume increases due to fertilization after mortality loss.

2. After 5 years fertilization improved black spruce growth significantly in two of four Forest Sections and in 2 of 21 individual installations. According to section treatment means (Laurentide-Onatchiway and Missinaibi-Cabonga), N fertilizer was as effective at the low rate as at the high rate, and P and K additions did not improve growth beyond that obtained with N alone. Ten years after treatment, only the means for the five installations in the Laurentide-Onatchiway showed a significant fertilizer response. The means for the species showed that large mortality losses largely offset any increases in net volume produced by the fertilizers.

3. The growth of mixed stands of jack pine and black spruce was improved by N addition at the high rate and by all combination treatments of N, P, and K in the Mixedwood Section. Although individual installations suggested increases in growth with combination treatments above N only treatments, the effects of P and K were not statistically significant. Jack pine was more responsive to fertilizer addition than black spruce in the mixed stands.

4. White spruce stands showed substantially improved growth with N addition at the high rate in the Mixedwood Section of Alberta, but no responses were observed with any one of the fertilizer treatments in the Maritime provinces. In one Section, heavy budworm infestation had interfered with the experimentation.

5. Red spruce stands in Nova Scotia, characterized by high stocking and excessive tree mortality, exhibited significant growth increases with 2N and 2N + PK treatments in one of three Forest Sections.

6. Balsam fir stands responded significantly after 5 years to N and combination treatments of N, P, and K in two of seven Forest Sections and in 2 of 13 installations. Total volume gains ranged from 10.3-17.6 m^3/ha which corresponded to relative increases of the PI by 30-51 percent. The installations suffered from mortality due to spruce budworm.

7. Aspen tested in a single trial within the Mixedwood Section of Saskatchewan was most responsive to nutrient supplementation. The 5-year PI was increased by 37.3 m^3/ha or 111 percent with 2N + PK. No 10-year response data were available.

8. Five years after treatment in 60 of the 81 installations, growth as observed with any of the fertilizer treatments was larger than growth on control plots. The low frequency of statistical significance ($P \leq 0.05$ for F-ratios, $P \leq 0.10$ for Scheffe's test) suggests that fertilization effects may have been obscured by large within-treatment variation because of uneven stocking, insect defoliation, and tree mortality in many installations.

9. In 18 of the 23 installations with significant treatment effects, the highest growth rates after 5 years were recorded with a combination treatment of N, P, and/or K. In another seven installations, growth was significantly improved with combination treatments only. However, in all cases, N only and combination treatments did not differ significantly from each other. This lack of statistical significance should not be regarded as final proof that naturally supplied P and K was adequate for tree growth, but it should indicate a need for additional experimentation.

10. Fertilization efficiency as measured by the amount of fertilizer N required to produce a unit volume of wood, appears similar in forests covered by the interprovincial trials and in Scandinavian forests, but fertilization in Douglas-fir forests of the Pacific northwestern region seems to be more efficient than fertilization in eastern forests.

11. Site index and site variables, such as drainage, texture, soil parent material, and ground vegetation, did not explain fertilization response. Attempts to relate 5-year response to stand variables, such as age, initial BA, and TV met with limited success, but foliar levels of the commonly determined macroelements accounted for 80 percent of the jack pine response to high rate N application.

Reliable response prediction required further field experimentation and indepth study of nutrient availability and fertilizer interactions in the forest environment.

12. Economic analyses have shown that fertilizer usage may be financially attractive in regions currently with limiting wood supply, but in many cases, the decision to fertilize forests will probably be motivated by age-class deficiencies in commercially important species, associated with declining allowable cuts. Management-related constraints to fertilizer usage for prompting growth in Canadian forests are listed and measures for their relief are suggested.

13. When testing dense, middle-aged unmanaged stands for fertilizer response, using conventional growth plots and dbh measurements, it was found that the large mortality losses and plot variability require more that two treatment replications to detect significant treatment responses. Increment cores would have more accurately deduced the relatively small but real fertilizer response from background "noise" of plot variation and mortality.

Tables

Table 1. Number of installations included in the 10-year remeasurement and originally established (in parentheses where different).

	Nova Scotia	New Brunswick	Quebec	Ontario	Manitoba	Saskat-chewan	Alberta	Total
1968/69	0	0(2)	0	0	0	0	0	0(2)
1969/70	2(3)	0	7(8)	5(5)	8(8)	2(2)	2(2)	26(28)
1970/71	2(2)	0	14(14)	6(7)	0	0	0	22(23)
1971/72	0	0	9(10)	6(6)	0	1	0	16(17)
1972/73	0	0	7(8)	0	0	0(2)	1(1)	8(11)
Total	4(5)	0(2)	37(40)	17(18)	8(8)	3(5)	3(3)	72(81)
Jack pine	0	0	12(12)	13(14)	2(2)	1(1)	0	28(29)
Black Spruce	0	0	12(12)	4(4)	4(4)	0(1)	0	20(21)
Jack pine/ black spruce	0	0	3(3)	0	2(2)	2(2)	0	7(7)
White spruce	1(1)	0(2)	0	0	0	0	3(3)	4(6)
Red spruce	3(3)	0	0	0	0	0	0	3(3)
Balsam fir	0(1)	0	10(13)	0	0	0	0	10(14)
Aspen	0	0	0	0	0	0(1)	0	0(1)
Total	4(5)	0(2)	37(40)	17(18)	8(8)	3(5)	3(3)	72(81)

Table 2. Forest Sections, age and site index of jack pine experimental stands.

Installation	Forest Section†	Stand age year	Site # Index
Que. 10	B.7 Missinaibi-Cabonga	46	18.3
Que. 11	B.7 Missinaibi-Cabonga	44	19.8
Que. 18	B.4 Northern Clay B	54	13.1
Que. 19	B.4 Northern Clay B	48	14.3
Que. 20	B.4 Northern Clay B	46	17.1
Que. 23	L.4b Algonquin-Pontiac	38	16.8
Que. 26	B.7 Missinaibi-Cabonga	42	15.8
Que. 31	B.la Laurentide-Onatchiway	54	16.5
Que. 33	L.7 Saguenay	38	16.5
Que. 38	B.4b Laurentide-Onatchiway	45	13.7
Que. 39	B.4b Laurentide-Onatchiway	45	13.7
Que. 40	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	12.8
Ont. 3	B.7 Missinaibi-Cabonga	55	14.6
Ont. 4	B.7 Missinaibi-Cabonga	48	17.8
Ont. 5	B.7 Missinaibi-Cabonga	45	18.3
Ont. 6	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	15.8
Ont. 7	B.7 Missinaibi-Cabonga	31	15.2
Ont. 8	B.7 Missinaibi-Cabonga	28	16.8
Ont. 9	B.7 Missinaibi-Cabonga	21	18.0
Ont. 10	B.7 Missinaibi-Cabonga	21	18.0
Ont. 13	B.11 Upper English River	49	16.5
Ont. 14•	B.11 Upper English River	49	16.5
Ont. 15	B.11 Upper English River	56	14.0
Ont. 16	B.11 Upper English River	56	14.3
Ont. 17	B.11 Upper English River	33	14.3
Ont. 18	B.11 Upper English River	36	12.8
Man. 1	B.18a Mixedwood	62	12.5
Man. 2	B.18a Mixedwood	70	12.5
Sask. 2	B.18a Mixedwood	73	13.7

† As defined by Rowe (1972).
# Height in metres at age 50.
• Installation lost during second 5-year period.

Table 3. Initial total volume (TV), and 10-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentide-Onatchiway, and Northern Clay Forest Sections.[1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Algonquin-Pontiac							
Quebec 23#	109	85.3	92.0	96.3	98.0	94.7	95.4
Saguenay							
Quebec 33#	98	49.5	46.6	49.7	47.7	61.3	63.0
Laurentide-Onatchiway							
Quebec 31	219	59.9	64.6	68.6	72.3	69.0	66.8
Quebec 38	92	29.5	28.2	40.3	36.2	44.1	43.7
Quebec 39	67	32.8	40.3	41.4	50.8	46.0	46.4
Average #	126	40.7	44.3	50.1	53.1	53.0	52.3
Northern Clay							
Quebec 18	123	46.3	54.1	60.2	66.7	62.7	67.6
Quebec 19	144	43.9	49.1	51.3	56.3	59.6	45.6
Quebec 20	192	54.5	66.7	66.4	61.3	63.5	63.6
Average #	153	48.2	56.6	59.3	61.4	61.9	58.9

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.

Table 4. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of the Missinaibi-Cabonga Forest Section.[1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Quebec 10	189	46.3	59.5	73.9	69.4	71.9	63.2
Quebec 11	238	66.8	68.1	67.7	72.4	91.9	78.7
Quebec 26	121	35.5	43.5	47.0	56.2	55.5	54.2
Quebec 40	185	60.9	67.9	76.2	71.5	82.6	79.7
Ontario 3	159	59.1	62.5	69.9	65.6	72.3	67.9
Ontario 4	217	66.4	69.2	67.0	67.6	77.7	74.3
Ontario 5	230	49.1	52.4	59.0	58.0	61.5	58.1
Ontario 6	183	74.4	90.9	88.4	97.3	99.6	98.7
Ontario 7	156	83.9	88.0	97.5	99.4	107.9	102.6
Ontario 8	137	97.0	106.3	96.2	112.5	118.8	113.5
Ontario 9	86	68.7	80.3	86.6	89.7	78.5	83.1
Ontario 10	90	89.8	91.6	102.1	97.7	98.9	104.7
Average #	166	66.5[a]	73.4[ab]	77.6[b]	79.8[b]	84.8[b]	81.6[b]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Ontario: Data from J.D. Scott, Ontario Ministry of Natural Resources.

Table 5. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized jack pine stands of Upper English River and Mixedwood Sections.[1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Upper English River							
Ontario 13	218	69.7	83.8	87.3	62.3	86.1	74.3
Ontario 15	213	77.0	77.8	81.1	65.2	102.7	94.3
Ontario 16	169	68.1	71.9	72.1	74.6	88.6	80.9
Ontario 17	103	61.4	61.8	63.6	60.3	66.3	58.3
Ontario 18	116	54.5	68.2	78.7	73.6	67.8	75.1
Average #	164	66.1[a]	72.7[b]	76.6[bc]	67.2[ab]	82.3[c]	76.6[bc]
Mixedwood							
Manitoba 1	219	59.0	64.2	66.1	52.8	54.1	55.5
Manitoba 2	195	46.9	51.4	62.8	53.7	50.4	60.0
Saskatchewan 2	209	42.7	50.5	55.4	56.3	54.1	51.8
Average #	208	49.5[a]	55.4[a]	61.4[a]	54.3[a]	52.9[a]	55.8[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.

[1] Ontario: Data from J.D. Scott, Ontario Ministry of Natural Resources.
Manitoba: Data from G. McColm, Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services.
Saskatchewan: Data from J. Soos, Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre.

Table 6. Forest Sections, age and site index of installations with black spruce and mixed jack pine and black spruce stands.

Installation	Forest Section†	Stand age year	Site # Index
Black Spruce			
Que. 8	B.7 Missinaibi-Cabonga	41	15.8
Que. 13	B.4 Northern Clay	57	12.8
Que. 14	B.4 Northern Clay	55	11.0
Que. 17	B.4 Northern Clay	45	12.8
Que. 21	B.4 Northern Clay	58	10.4
Que. 22	B.7 Missinaibi-Cabonga	45	13.4
Que. 25	B.7 Missinaibi-Cabonga	44	12.2
Que. 28	B.1a Laurentide-Onatchiway	72	10.7
Que. 30	B.1a Laurentide-Onatchiway	80	9.4
Que. 35	B.1a Laurentide-Onatchiway	47	7.6
Que. 36	B.1a Laurentide-Onatchiway	54	12.2
Que. 37	B.1a Laurentide-Onatchiway	65	13.4
Ont. 1	B.4 Northern Clay	51	14.6
Ont. 2	B.4 Northern Clay	56	14.6
Ont. 11	B.4 Northern Clay	75	10.1
Ont. 12	B.4 Northern Clay	70	10.7
Man. 5	B.18a Mixedwood	68	13.7
Man. 6	B.18a Mixedwood	65	11.3
Man. 7	B.18a Mixedwood	80	10.1
Man. 8	B.18a Mixedwood	57	10.4
Sask. 3*	B.18a Mixedwood	80	10.7
Jack Pine – Black Spruce			
Que. 15	B.4 Northern Clay	56	12.8
Que. 24	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	18.3
Que. 32	B.1a Laurentide-Onatchiway	47	15.2
Man. 3	B.18a Mixedwood	62	11.6
Man. 4	B.18a Mixedwood	62	12.2
Sask. 1	B.18a Mixedwood	85	9.1
Sask. 5	B.18a Mixedwood	85	9.1

† As defined by Rowe (1972).
# Height in metres at age 50.
* Lost in second 5-year period.

Table 7. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Laurentide-Onatchiway and Northern Clay Sections.[1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Laurentide–Onatchiway							
Quebec 28	168	36.7	41.1	38.9	34.3	34.5	40.8
Quebec 30	171	34.7	38.1	33.0	35.9	36.2	31.6
Quebec 35	138	39.6	45.1	49.5	55.9	49.3	55.5
Quebec 36	114	28.8	37.3	47.2	49.2	51.4	52.9
Quebec 37	266	33.0	34.7	37.8	28.8	39.6	33.3
Average #	171	34.6	39.3	41.3	40.8	42.2	42.8
Northern Clay							
Quebec 13	209	52.2	61.6	60.6	69.6	62.2	58.2
Quebec 14	135	53.8	51.2	51.1	57.7	57.2	54.9
Quebec 17	83	26.5	30.5	34.9	31.5	30.0	23.7
Quebec 21	106	36.4	43.4	46.2	47.7	35.4	41.7
Ontario 1	182	49.9	49.7	47.8	45.2	45.7	42.7
Ontario 2	234	48.0	52.9	46.7	48.4	42.2	53.5
Ontario 11	273	48.3	33.5	38.8	27.6	56.0	43.3
Ontario 12	397	51.3	70.9	59.5	56.2	56.1	59.3
Average #	202	45.8	49.2	48.2	48.0	48.1	47.2

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.

[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Ontario: Data from J.D.Scott, Ontario Ministry of Resources

Table 8. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in untreated and fertilized black spruce stands of the Missinaibi-Cabonga and Mixedwood Forest Sections.[1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Missinaibi–Cabonga							
Quebec 8	196	46.8	52.0	50.7	53.8	35.3	58.0
Quebec 22	105	37.8	46.8	38.0	62.0	38.3	46.8
Quebec 25	105	37.2	43.9	36.4	47.0	43.8	46.4
Average #	135	40.6[a]	47.6[ab]	41.7[a]	54.3[b]	39.1[a]	50.4[b]
Mixedwood							
Manitoba 5	202	51.5	55.8	55.3	57.8	52.0	56.8
Manitoba 6	248	41.8	55.6	64.0	49.6	44.4	60.4
Manitoba 7	198	54.6	54.3	58.4	54.7	51.6	56.3
Manitoba 8	345	61.7	57.5	53.4	57.1	57.4	57.3
Average #	248	52.4[a]	55.8[a]	57.8[a]	54.8[a]	51.4[a]	57.7[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.

[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Manitoba: Data from G. McColm, Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services.
Saskatchewan: Data from J. Soos, Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre.

Table 9. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments of installations with mixed stands of jack pine and black spruce. [1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Laurentide–Onatchiway							
Quebec 32	121	42.9	50.7	52.1	59.1	61.8	60.0
Northern Clay							
Quebec 15	226	65.5	77.7	77.4	76.8	77.7	77.4
Missinaibi – Cabonga							
Quebec 24	143	63.0	72.7	74.0	77.6	87.4	84.9
Mixedwood							
Manitoba 3	159	34.2	50.4	50.8	47.1	49.1	50.1
Manitoba 4	204	44.9	59.5	58.0	63.0	60.2	55.6
Saskatchewan 1	197	42.6	46.9	62.5	69.1	69.8	67.8
Saskatchewan 5	206	43.8	49.3	75.0	59.8	63.3	66.1
Average #	192	41.4	51.5	61.6	59.8	60.6	59.9

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.

[1] Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.
Manitoba: Data from G. McColm, Manitoba Department of Renewable Resources and Transportation Services.
Saskatchewan: Data from J. Soos, Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre.

Table 10. Forest Sections, age and site index of installations of white spruce, red spruce, and balsam fir stands.

Installation	Forest Section†	Stand age year	Site # Index
White Spruce			
Nova Scotia 2	A.7 Cape Breton-Antigonish	35	17.4
New Brunswick 1*	A.9 Fundy Coast	45	15.2
New Brunswick 2*	A.9 Fundy Coast	45	15.2
Alberta 1	B.18a Mixedwood	90	16.8
Alberta 2	B.18a Mixedwood	50	14.6
Alberta 3	B.18a Mixedwood	84	15.2
Red Spruce			
Nova Scotia 1	A.12 Central Lowlands	55	14.3
Nova Scotia 4	A.9 Fundy Coast	50	13.4
Nova Scotia 5	A.11 Atlantic Uplands	62	12.5
Balsam Fir			
Nova Scotia 3*	A.6 Cape Breton Plateau	50	12.8
Quebec 1	B.2 Gaspe	50	13.7
Quebec 2	B.2 Gaspe	45	13.7
Quebec 3*	B.2 Gaspe	59	10.7
Quebec 4	B.2 Gaspe	61	10.7
Quebec 5	B.2 Gaspe	59	10.7
Quebec 6	B.2 Gaspe	62	10.7
Quebec 7	L.6 Temiscouata-Restigouche	56	12.2
Quebec 9	B.7 Missinaibi-Cabonga	46	15.2
Quebec 12	Timagami	50	12.8
Quebec 16	B.4 Northern Clay	59	12.2
Quebec 27*	B.1a Laurentide-Onatchiway	47	15.8
Quebec 29*	B.1a Laurentide-Onatchiway	46	14.9
Quebec 34*	B.1a Laurentide-Onatchiway	51	15.8

† As defined by Rowe (1972).
# Height in metres at age 50.
* Lost during second 5-year period.

Table 11. Initial total volume (TV) and 10-year periodic increments in white and red spruce stands with and without fertilizer treatments. [1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
White Spruce							
Cape Breton-Antigonish							
Nova Scotia 2	223	74.3[a]	54.9[a]	66.9[a]	81.5[a]	61.6[a]	67.0[a]
Mixedwood							
Alberta 1	375	63.4	73.4	80.9	65.4	62.0	67.5
Alberta 2	265	105.0	102.3	103.1	95.9	98.8	104.3
Alberta 3	211	60.6	69.5	80.9	82.0	81.3	84.0
Average #	284	76.3[a]	81.7[a]	88.3[b]	81.1[a]	80.7[a]	85.3[a]
Red Spruce							
Central Lowlands							
Nova Scotia 1	245	53.3[a]	68.1[a]	69.8[a]	51.9[a]	62.4[a]	62.6[a]
Fundy Coast							
Nova Scotia 4	247	25.1[a]	32.2[ab]	37.1[b]	27.6[a]	31.4[ab]	34.6[b]
Atlantic Uplands							
Nova Scotia 5	182	61.4[a]	55.9[a]	54.5[a]	56.2[a]	61.8[a]	82.7[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.

[1] Nova Scotia: Data from V. Timmer, Canadian Forestry Service—Maritimes.
New Brunswick: Data from S.J. Hoyt, New Brunswick Department of NaturalResources.
Alberta: Data from E. Ritcey, Alberta Energy and Natural Resources.

Table 12. Initial total volume (TV), and 10-year periodic increments in balsam fir stands.[1]

Installation	Initial TV	10-year TV increment					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha†					
Balsam fir							
Gaspe							
Quebec 1	289	64.0	65.9	66.0	78.0	79.7	73.5
Quebec 2	221	45.5	56.4	55.0	51.6	57.1	60.0
Quebec 4	233	39.9	42.4	54.1	55.0	51.0	39.1
Quebec 5	223	54.1	71.6	68.9	83.4	70.3	77.2
Quebec 6	102	29.3	36.2	38.4	36.1	33.6	33.5
Average #	214	46.6[a]	54.5[ab]	56.5[b]	60.8[b]	58.3[b]	56.7[b]
Temiscouata-Restigouche							
Quebec 7	180	47.4[a]	45.9[a]	44.4[a]	54.6[a]	50.9[a]	47.4[a]
Northern Clay							
Quebec 16	94	16.0[a]	19.3[a]	23.5[a]	37.0[a]	31.0[a]	29.5[a]
Missinaibi-Cabonga							
Quebec 9	119	39.0[a]	39.4[a]	41.5[a]	44.0[a]	40.8[a]	53.4[a]
Timagami							
Quebec 12	113	32.8	30.2[a]	35.8[a]	44.3[a]	41.7[a]	35.6[a]

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.
# Means marked by the same letter do not differ significantly from each other.
[1] Nova Scotia: Data from V. Timmer, Canadian Forestry Service — Maritimes.
Quebec: Data from J.-M. Veilleux and G. Sheedy, Quebec Department of Energy and Resources.

Table 13. Tree mortality and ingrowth of small diameter trees into the merchantable volume fraction during the first 10 years after treatments.

Species	Mortality						Ingrowth					
	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha†						m^3/ha†					
Jack pine	19.7	20.8	19.7	22.6	19.7	23.6	9.0	9.7	12.4	9.7	9.2	11.1
Black spruce	25.5	41.2	31.8	45.1	40.5	40.4	6.2	5.5	6.9	6.8	6.7	6.1
Jack pine/ Black spruce	10.8	13.9	19.0	19.6	12.5	16.5	7.6	7.1	5.3	5.5	5.6	5.2
White spruce	32.6	49.4	32.9	46.6	57.1	26.8	3.1	5.1	3.8	4.1	3.7	1.9
Red spruce	39.1	58.2	67.2	89.3	40.6	63.4	0.6	1.2	1.6	2.4	2.3	1.2
Balsam fir	54.4	50.5	58.0	53.7	59.5	58.9	4.9	5.5	5.3	4.4	5.1	7.0

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

References

Armson, K.A. 1967. Review of forest-fertilization in Canada. Can. Dep. For. Rural Develop., Ottawa. Publ. No. 1186. 175p.

Armson, K.A. 1972. Fertilizer distribution and sampling techniques in the aerial fertilization of forests. Univ. Toronto, Fac. Forestry Tech. Rep. No. 11, 28 pp.

Armson, K.A., Krause, H.H., Weetman, G.F. 1975. Fertilization response in the northern coniferous forest. Forest Soils and Forest Land Management. Pages 449-466 *in* B. Bernier and C.H. Winget, eds. Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference, Laval University, Quebec, Aug. 1973. Les Presses de l'Université Laval, Québec.

Ballard, R. 1984. Fertilization of plantations. Pages 327-360 *in* Bowen and Nambiar, eds. Nutrition of plantation forests. Academic Press.

Bengtson, G.W. 1976. Fertilizers in use and under evaluation in silviculture: A status report. Proc. XVI IUFRO World Congr.

Barclay, H.; Brix, H.; Layton, C.R. 1982. Fertilization and thinning effects on a Douglas-fir ecosystem at Shawnigan Lake: 9-year response. Can. For. Serv., Pacific For. Res. Centre, Victoria, B.C. Inf. Rep. BC-X-238.

Bernier, B.; Brazeau, M.; Winget, C.H. 1972. Gaseous loss of ammonia following urea application in a balsam fir forest. Can. J. For. Res. 2:79-82.

Brantseg, A. 1967. Skogsgodsling pa fastmark. Skogsgodsl. Nya Vetenskalp. Ron 9:3-22.

Brazeau, M. 1979. Incidence de la fertilization sur la nutrition et la croissance du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) en forêt naturelle. Ph.D. Thesis, Univ. Laval, Cité Universitaire, Quebec.

British Columbia Ministry of Forests. 1983. Forest productivity installations. Page 54 *in* Research Review.

Camire, C. 1980. Fertilisation azotée en forêt de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) Ph.D. Thesis. Univ. Laval. Cité Universitaire, Quebec.

Canadian Forestry Service. 1973. Interprovincial forest fertilization program. Progress report 1969/72. Can. For. Serv., Ottawa. Publ. No. 1319. 19 pp.

Carrier, D.; Bernier, B. 1971. Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale après fertilisation en forêt de pin gris. Can. J. For. Res. 1:69:79.

Evert, F. 1976. Back to the basics. For. Chron. 52:171.

Foster, N.W. 1979. The importance of chemical reactions and microbial activity in immobilizing urea nitrogen in jack pine humus. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ont.

Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. Ecology 57:110-120.

Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1983a. Soil fertility, fertilization and growth of Canadian forests. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Centre, Sault Ste. Marie, Ont. Info. Rep. O-X-353.

Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1983b. Fertilization of coniferous forests in the Lake Superior Region. Pages 164-170 *in* J.C. Stier, ed. Silviculture of established stands in north central forests. Symp. Proc. SAF Region V. Tech. Conf. Duluth, Minn. September 1983. SAF Publ. 83-11.

Gagnon, J.D.; Roberge, M.; Truong dinh Phu; Swan, H.S.D. 1979. Effets de la fertilisation, après 10 ans, sur la croissance et le milieu d'une sapinière naturelle de 60 ans au nord-est du Québec. Serv. can. for., Centre rech. for. Laurentides, Sainte-Foy, Que.. Rapp. d'inf. LAU-X-36.

Groot, A.; Brown, K.M.; Morrison, I.K.; Barker, J.E. 1984. A 10-year tree and stand response of jack pine to urea fertilization and low thinning. Can. J. For. Res. 14(1):44-50.

Hamilton, M.A. 1965. Multiple comparison procedures. U.S. For. Serv. Research Note — RM 44, 12p.

Harrington, C.A.; Miller, R.E. 1979. Response of a 100 year-old Douglas-fir stand to urea and ammonium nitrate fertilization. U.S. For. Serv., Pac. Northwest For. Rang. Exp. Stn. Research Note 336.

Honer, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Can. Dep. For. and Rural Dev., For. Branch, Ottawa. Inf. Rep. FMR-X-5.

Hoyt, J.S. 1973. Growth increases after fertilization in mature jack pine and balsam fir stands. New Brunswick Dep. Natural Resources, For. Branch. 81 pp.

Jonsson, S. 1977. Results from the 10-year-old series of trials with high doses of nitrogen fertilization (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsforbättring. Årsbok 1977, p.79-128.

Jonsson, S.; Moller, G. 1976. Fertilization and thinning effects in overstocked pine stands. (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsforbättring, Årsbok 1976,p. 62-116.

Krause, H.H. 1981. Factorial experiments with nitrogen, phosphorus, and potassium in spruce and fir stands of New Brunswick: 10-year results. Can. For. Serv., Maritime For. Res. Cent., Fredericton, N.B. Inf. Rep. M-X-123. 27 p.

Krause, H.H.; Weetman, G.F.; Arp. P.A. 1978. Nutrient cycling in boreal forest ecosystems. Forest Soils and Land Use. Pages 287-319 *in* C.T. Youngberg, ed. Proceedings of the Fifth North American Forest Soils Conference, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, Aug., 1978.

Leech, R.H. 1969. Response of a jack pine plantation to urea and potash fertilizers. Ont. Dep. Lands and Forests Res. Rep. No. 88. 44 pp.

Mahendrappa, M.K.; Ogden, E.D. 1973. Patterns of ammonia volatization from a forest soil. Plant and Soil 38:257-265.

Mahendrappa, M.K. 1978. Changes in the organic layers under a black spruce stand fertilized with urea and triple superphosphate. Can. J. For. Res. 8:237:242.

Malm, D.; Moller, G. 1974. Differences in volume growth increase after fertilization with urea and ammonium nitrate fertilizer (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsforbättring. Årsbok, 1974, p. 75-97.

Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1977. Fate of urea fertilizer added to a boreal forest (*Pinus banksiana* Lamb.) stand. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41:441-448.

Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1979. Five-year growth in two nitrogen-phosphorus fertilization experiments in spruce and spruce-fir upland forest in northern Ontario. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-299. 15 pp.

Morrison, I.K.; Hegyi, F.; Foster, N.W.; Winston, D.A.; Tucker, T.L. 1976a. Fertilizing semimature jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in northwestern Ontario: Fourth year results. Can. For. Serv., Great Lakes For Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-240.

Morrison, I.K.; Winston, D.A.; Foster, N.W. 1976b. Urea dosage trial in semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-251. 8 pp.

Morrison, I.K.; Swan, H.S.D.; Foster, N.W.; Winston, D.A. 1976c. Ten-year growth response to fertilizer of a 90-year-old black spruce stand in northwestern Ontario. For. Chron. 52(5):233-236.

Morrison, I.K.; Winston, D.A.; Foster, N.W. 1977a. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-258. 12 pp.

Morrison, I.K.; Winston, D.A.; Foster, N.W. 1977b. Effect of nitrogen and low thinning on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. O-X-267. 10 pp.

Morrison, I.K.; Swan, H.S.D.; Foster, N.W.; Winston, D.A. 1977c. Ten-year growth in two fertilization experiments in a semimature jack pine stand in northwestern Ontario. For. Chron. 53(3):142-146.

Morrison, I.K.; Foster, N.W.; Swan, H.D. 1981. Ten-year response of semi-mature jack pine forest in northwestern Ontario to fall nitrogen- phosphorus and nitrogen-potassium fertilizer treatments. For. Chron. 55: 208-211.

Nadeau, J.P. 1977. La fertilisation aerienne des forêts, un investissement rentable. Experience avec le pin gris en Mauricie, Québec. Ministère des Terres et Forêts du Québec. Serv. rech., Memoire No. 35.

Overrein, L.N. 1970. Tracer studies on nitrogen immobilization-mineralization relationships in forest raw humus. Plant and Soil, 21, 478-500.

Plonski, W.L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Ont. Ministry of Natural Resources, Toronto, Ontario.

Reed, F.L.C. 1979. Realizing the economic potential of Canada's forest resource. For. Chron. 55:217-221.

Rennie, P.J. 1972. Forest fertilization in Canada. Pages 2330-2343 *in* Proceedings. Seventh World Forestry Congress. Vol. II. Buenos Aires, Argentina.

Rennie, P.J. 1978. Utilization of soils of the boreal for forest production. Proceedings 11th Intern. Congress of Soil Science, 3:305-331. Edmonton, Alberta,

Roberge, M.R.; Gagnon, J.D. 1974. Étude d'un épandage aerien d'urée en forêt. Can. J. For. Res. 4:482-490.

Roberge, M.R.; Knowles, R. 1966. Ureolysis, immobilization, and nitrification in black spruce (*Picea marinana* Mill) humus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:201-204.

Rosvall, O. 1979. Prognosfunkitioner för beräkning ar godslings-effekter. Föreningen Skogsträdsforädling och institutet för Skogsforbättring, Årsbok 1979.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv. Dep. Environ., Ottawa. Publ. No. 1300, 172 pp.

Scheffe, H. 1959. The analysis of variance. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sheedy, G. 1977. Évaluation des dommages causes par la tordeuses des bourgeons de l'épinette dans des dispositifs de fertilisation établis dans des peuplements de sapin et d'épinette. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech., M.T.F. Rapp. interne No. 176, 21 pp.

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1967. Statistical methods. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Timmer, V.R.; Morrow, L.D. 1980. Preliminary growth response and foliar diagnosis of fertilized jack pine and black spruce plantations in the Lake Nipigon-Beardmore Area. Fac. Forestry, Univ. Toronto, Mimeo. 23 pp.

Timmer, V.R.; Morrow, L.D. 1984. Predicting fertilizer growth response and nutrient status of jack pine by foliar diagnosis. Pages 335-351 *in* E.L. Stone, ed. Forest soils and treatment impacts. Univ. Tenn.

Timmer, V.R.; Stone, E.L.; Embree, D.G. 1977. Growth response of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Can. J. For. Res. 7:441-447.

Tucker, T.L. 1974. What is it worth? An economic evaluation of fertilizer trials in jack pine at Dryden, Ontario. Pages 39-45 *in* Proc. Workshop on Forest Fertilization in Canada. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. For. Tech. Rep. No. 5.

Van Nostrand, R.S. 1979. Growth response to black spruce in Newfoundland to N, P, and K fertilization. For. Chron. 55:189-193.

Veilleux, J.-M.; Sheedy, G. 1977. Essai operationnel de fertilisation aerienne de peuplements de pin gris dans la Mauricie. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech. Memoire No. 41. 137 pp.

Vezina, P.E.; Linteau, A. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec. Can. Min. For. Rural Dev., Forest Res. Lab. Que. Reg., Inf. Rep. O-X-2.

Viro, P.J. 1972. Die Walddüngung auf Finnischen Mineralböden. Folia For. 138. 19 p., Helsinki.

Weetman, G.F. 1968. The nitrogen fertilization of three black spruce stands. Woodlands Paper No. 6, Pulp and Paper Research Institute of Canada, Pointe Claire, Quebec.

Weetman, G.F. 1975. Ten-year growth response of black spruce to thinning and fertilization treatments. Can. J. For. Res. 5:302-309.

Weetman, G.F.; Fournier, R. 1982. Graphical diagnosis of lodgepole pine response to fertilization. Soil Sci. Soc. Proc. 46 (6):1280-1289.

Weetman, G.F.; Fournier, R. 1984a. Ten-year growth and nutrition effects of a straw treatment and of repeated fertilization on jack pine. Can. J. For. Res. 14(3):416-423.

Weetman, G.F.; Fournier, R. 1984b. Ten-year growth results of nitrogen source and interprovincial experiments on jack pine. Can. J. For. Res. 14(3):424-430.

Weetman, G.F.; Krause, H.H.; Koller, E. 1976. Interprovincial forest fertilization program. Results of five-year growth remeasurements in thirty installations: Fertilized in 1969, remeasured in 1974. Can. For. Serv. Ottawa. For. Tech. Rep. 16. 34 pp.

Weetman, G.F.; Roberge, M.; Meng, C.H. 1980. Black spruce thinning and fertilization: 15-year growth and humus microbiological responses. Can. J. For. Res. 10:502-509.

Weetman, G.F.; Yang, R.C.; Bella, I.E. 1985. Nutrition and fertilization of lodgepole pine. Pages 225-232 *in* D.M. Baumgartner, R.G. Krebill, J.T. Arnott, G.F. Weetman, eds. Lodgepole pine: the species and its management. Sym. Proc.: Washington State Univ., Pullman, WA.

Appendices

Appendix I. Forest cover and some site characteristics at experimental locations.

Installation	Forest* Cover	Ground* Cover	Slope** Class	Soil Parent Material		Drain-## age Class	Rooting Depth cm
				Origin	Texture#		
Nova Scotia 1	rS8, bF2	FM9	2	ablation till	saL	2	41
Nova Scotia 2	wS9	FM2, 08	2	fluvio-glacial	saL	1	61
Nova Scotia 3	bF9, wS1	FM9	2	basal till	siL, clL	3	33
Nova Scotia 4	rS9	none	1	basal till	fSa, lSa	2	36
Nova Scotia 5	rS8, bF1	FM9, SM1	1	basal till	saL	2	33
New Brunswick 1	wS9	FM7	2	basal till	saL	2	48
New Brunswick 2	wS9	FM8	2	basal till	saL	2	48
Quebec 1	bF8	FM8, G2	1	basal till	saL	3	33
Quebec 2	bF5, wS1	FM8, E2	1	ablation till	saL	2/3	30
Quebec 3	bF7, wS1	FM7, H1	3	ablation till	saL	2	30
Quebec 4	bF6, bS1	FM9	1	ablation till	vfSa, L	2	30
Quebec 5	bF7, bS1	FM9	2	basal till	saL	3	30
Quebec 6	bF8	FM8	3	basal till	saL	2	46
Quebec 7	bF7, bS1	FM9	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	2	30
Quebec 8	bS6	E3, FM1	2	fluvio-glacial	sa, fSa	2	22
Quebec 9	bF7, wB1	H1	2	fluvio-glacial	fSa, lSa	2	15
Quebec 10	jP5, bS1	E3, FM2	1	lacustrine	siL, clL	4/5	15
Quebec 11	jP4, wB3	H1, E1	3	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	20
Quebec 12	bF4, bS2	FM1, H1	2	fluvio-glacial	fSa, lSa	2/3	15
Quebec 13	bS7, jP1	FM2, SM1	1	lacustrine	Si, clL	4	18
Quebec 14	bS6	E2, FM1	2	lacustrine	Si, clL	4	18
Quebec 15	bS5, jP3	FM1	2	lacustrine	siL, clL	4/5	23
Quebec 16	bF4, wB3	FM2, SM1	1	lacustrine	siCl, Cl	3/4	20
Quebec 17	bS5	FM3, E2	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	4	25
Quebec 18	jP5, bS1	E2, Cla1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	23
Quebec 19	jP6	E2, FM1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	30
Quebec 20	jP8	H1, E1	2	fluvio-glacial	fSa, lSa	3	20
Quebec 21	bS6	E2, SM1	2	peat	—	5	30
Quebec 22	bS6	E3, FM1	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	22
Quebec 23	jP7	E2, FM1	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	2	25
Quebec 24	jP4, bS4	E1, FM1	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	25
Quebec 25	bS6	E3, FM1	3	fluvio-glacial	saL	2/3	15
Quebec 26	jP6	E2, FM1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	18
Quebec 27	bF8	FM2, H1	3	basal till	Sa, fSa	3	20
Quebec 28	bS6, bF2	FM2	3	basal till	Sa, cSa	3	30
Quebec 29	bF8	FM2	3	ablation till	L, clL	3	8
Quebec 30	bS8	FM2, SM1	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	4	20
Quebec 31	jP6	E2, FM1	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	20
Quebec 32	jP4, bS5	FM9, E8	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	33
Quebec 33	jP9	FM9, E8	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	30
Quebec 34	bF9	FM9, H1	3	basal till	Sa, fSa	2	30
Quebec 35	bS9	FM9	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	15
Quebec 36	bS9	E8, FM9	1	basal till	Sa, fSa	2	15
Quebec 37	bS9	FM9	3	ablation till	Sa, fSa	2	15
Quebec 38	jP9	E8, Cla7	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	25
Quebec 39	jP9	Cla9, E9	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	33
Quebec 40	jP9, bS1	E5, FM6	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	51

Appendix I (continued)

Installation	Forest* Cover	Ground* Cover	Slope** Class	Soil Parent Material		Drain-## age Class	Rooting Depth cm
				Origin	Texture#		
Ontario 1	bS5, jP1	H9, FM5	1	basal till	siCl, Cl	4	5
Ontario 2	bS4, jP2	FM8, H1	2	basal till	siCl, Cl	3	10
Ontario 3	jP6	FM7, E2	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	—
Ontario 4	jP6	FM9, E8	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	—
Ontario 5	jP8	FM9, E6	3	lacustrine	Sa, cSa	1	—
Ontario 6	jP6	E9, FM7	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	—
Ontario 7	jP8	E8, FM8	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	36
Ontario 8	jP8	E9, FM7	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	28
Ontario 9	jP7	E8	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	1	36
Ontario 10	jP3	E2	1	fluvio-glacial	fSa, lSa	1	33
Ontario 11	bS6	FM9, H6	1	lacustrine	siCl, Cl	5	8
Ontario 12	bS5	FM9, H7	1	lacustrine	siCl, Cl	3	10
Ontario 13	jP4	FM9, E2	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	41
Ontario 14	jP4	FM9, E4	2	fluvio-glacial	lSa, fSa	1	28
Ontario 15	jP5	FM9, H5	2	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	23
Ontario 16	jP5	FM9, E3	2	fluvio-glacial	Sa, fSa	1	25
Ontario 17	jP8, wB1	FM7, E2	2	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	51
Ontario 18	jP5	FM9, E3	1	fluvio-glacial	Sa, cSa	1	20
Manitoba 1	jP9, bS1	FM8, SM1	1	ablation till	fSa, lSa	3	46
Manitoba 2	jP9, bS1	FM8, H2	1	ablation till	Sa, cSa	3	46
Manitoba 3	jP8, bS2	FM7, Cla3	1	ablation till	sA, cSa	1	46
Manitoba 4	jP8, bS2	FM8, H1	1	ablation till	Sa, cSa	1	46
Manitoba 5	bS9	FM7, SM3	1	ablation till	siCl, Cl	3	38
Manitoba 6	bS9	FM8	1	ablation till	siCl, Cl	3	38
Manitoba 7	bS6	FM9, H1	2	ablation till	siCl, Cl	3	38
Manitoba 8	bS6	SM8, H1	1	muck	—	6	30
Saskatchewan 1	jP6, bS4	Cla, FM	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	30
Saskatchewan 2	jP9	FM9, H1	1	reworked till	Sa, fSa	2	48
Saskatchewan 3	bS9	FM9, Cla	1	lacustrine	siCl, saL	4	23
Saskatchewan 4	A8, bPo2	G3, H4	1	ablation till	saL	3	30
Saskatchewan 5	jP6, bS4	Cla, FM	1	fluvio-glacial	Sa, fSa	2	30
Alberta 1	wS9	SM5, H4	1	lacustrine	siL, clL	3	60
Alberta 2	wS6, A3	FM7, H2	1	fluvio-glacial	saL	3	71
Alberta 3	wS9	FM8, H1	1	lacustrine	Sa, fSa	3/4	20

* Species abbreviations: Jack pine - jP, black spruce - bS, white spruce - wS, red spruce - rS, balsam fir - bF, trembling aspen - A, balsam poplar - bPo, white birch - wB, feather mosses - FM, sphagnum mosses - SM, broad leaf herbs - H, ericaceous shrubs - E, grasses - G, Cladonia - Cla.
Numerals following species indicate the fractions (tenths) of canopy or ground cover.

** Slope classes: 1 - level to very gentle slopes (<5%), 2 - gentle to moderate slopes (6-15%), 3 - strong slopes (16-30%).

\# Texture notations: Sand - Sa, coarse sand - cSa, fine sand - fSa, very fine sand - vfSa, loamy sand - lSa, loam - L, sandy loam - saL, silt - Si, silt loam - siL, clay - Cl, clay loam - clL, silty clay - siCl

\#\# Drainage classes as defined in: Manual for describing soils in the field, p. 38-39. Canada Soil Survey Committee, 1978 revised. Land resources Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ont.

Appendix II. Ten-year periodic growth and fertilization response in individual installations of interprovincial program.

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Nova Scotia 1	dbh †	14.0	14.9	0.9					
	BA	36.3	42.0	5.7	1.7	2.0	0.0	1.1	1.3
	TV	245.4	298.7	53.3	14.8	16.5	-1.4	9.1	9.3
	MV	215.8	264.1	48.3	13.5	16.1	1.8	7.3	11.1
Nova Scotia 2	dbh	12.5	13.8	1.3					
	BA	36.5	44.6	8.1	0.2	1.5	1.1	0.3	1.1
	TV	194.2	256.5	62.3	1.5	12.6	7.3	1.2	10.2
	MV	150.3	210.4	60.1	1.3	15.1	8.4	0.6	10.3
Nova Scotia 3				— — lost — —					
Nova Scotia 4	dbh	13.8	14.2	0.4					
	BA	37.9	40.4	2.5	0.8	1.4	0.3	0.8	1.1
	TV	247.2	272.2	25.0	7.1	12.0	2.5	6.3	9.5
	MV	211.0	234.7	23.7	8.1	11.1	2.5	7.7	9.4
Nova Scotia 5	dbh	12.3	13.7	1.4					
	BA	29.9	37.6	7.7	-0.7	-0.8	-0.4	0.1	2.6
	TV	181.7	243.1	61.4	-5.5	-6.9	-5.2	0.4	21.3
	MV	145.1	205.2	60.1	-2.8	-7.5	-3.0	2.0	19.6
New Brunswick 1				— — lost — —					
New Brunswick 2				— — lost — —					
Quebec 1	dbh	15.3	16.5	1.2					
	BA	41.4	48.5	7.1	0.5	0.2	1.7	2.2	1.1
	TV	289.3	353.3	64.0	1.9	2.0	14.0	15.7	9.5
	MV	250.2	311.0	60.8	3.6	2.3	15.8	17.0	9.3
Quebec 2	dbh	13.1	14.1	1.0					
	BA	33.3	38.6	5.3	1.3	1.3	0.8	1.4	1.9
	TV	220.6	266.1	45.5	9.9	9.5	6.1	11.6	14.5
	MV	180.8	225.1	44.3	9.3	12.8	7.8	11.0	16.1
Quebec 3				— — lost — —					
Quebec 4	dbh	12.2	13.0	0.8					
	BA	37.2	42.6	5.4	0.6	1.6	1.2	1.4	0.4
	TV	233.1	273.0	39.9	2.5	14.2	15.1	11.1	-0.8
	MV	183.4	226.5	43.1	2.0	11.4	11.7	14.2	1.8
Quebec 5	dbh	8.8	9.7	0.9					
	BA	38.2	46.0	7.8	2.2	1.9	4.0	2.2	3.2
	TV	223.5	277.7	54.2	17.5	14.8	29.3	16.2	23.1
	MV	113.0	169.3	56.3	16.8	16.3	30.0	16.9	26.3
Quebec 6	dbh	11.2	12.2	1.0					
	BA	16.9	20.3	3.4	0.8	1.3	0.8	0.6	0.6
	TV	101.9	131.2	29.3	6.9	9.1	5.8	4.3	4.2
	MV	73.1	99.5	26.4	7.5	12.5	6.3	5.1	5.7
Quebec 7	dbh	11.3	12.4	1.1					
	BA	27.8	33.6	5.8	-0.2	-0.5	0.8	0.0	0.0
	TV	179.7	227.0	47.3	-1.5	-2.9	7.2	3.5	0.1
	MV	131.3	181.4	50.1	-2.4	-6.9	4.0	1.3	-2.6

Appendix II. (Continued)

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 8	dbh	11.4	12.3	0.9					
	BA	30.2	35.2	5.0	0.7	0.2	0.8	-1.3	1.3
	TV	196.0	242.8	46.8	5.2	3.9	7.0	-11.5	11.2
	MV	148.7	193.1	46.4	3.9	3.1	6.7	-12.6	10.6
Quebec 9	dbh	10.9	12.2	1.3					
	BA	18.9	23.8	4.9	0.0	0.4	0.6	0.3	1.8
	TV	118.7	157.7	39.0	0.4	2.5	5.0	1.8	14.4
	MV	79.1	119.2	40.1	-0.5	1.4	2.8	0.2	14.8
Quebec 10	dbh	11.7	13.0	1.3					
	BA	25.1	30.5	5.4	1.9	3.3	2.3	2.5	1.8
	TV	189.0	235.3	46.3	13.2	27.4	23.1	25.6	16.9
	MV	141.5	191.7	50.2	10.7	23.1	19.2	20.5	11.2
Quebec 11	dbh	12.8	14.2	1.4					
	BA	29.0	35.8	6.8	0.1	0.1	0.5	2.5	1.1
	TV	237.9	304.7	66.8	1.3	0.8	5.6	25.1	11.8
	MV	195.0	260.1	65.1	1.7	-1.8	6.1	23.9	11.2
Quebec 12	dbh	11.3	12.5	1.2					
	BA	19.2	23.6	4.4	0.0	0.5	1.2	1.1	0.8
	TV	112.8	145.6	32.8	-2.6	3.0	11.5	8.9	2.8
	MV	81.5	113.5	32.0	0.1	3.4	10.1	8.2	6.2
Quebec 13	dbh	12.5	13.5	1.0					
	BA	32.9	38.2	5.3	1.6	0.9	2.3	2.0	1.1
	TV	209.3	261.5	52.2	9.4	8.4	17.1	10.0	6.0
	MV	164.2	216.7	52.5	11.6	6.1	17.2	10.5	8.1
Quebec 14	dbh	11.6	13.1	1.5					
	BA	24.6	31.0	6.4	1.2	1.2	2.9	4.0	1.0
	TV	134.8	188.7	53.9	7.4	7.3	3.9	3.4	1.1
	MV	99.5	151.2	51.7	10.1	11.5	4.9	6.0	2.2
Quebec 15	dbh	11.2	12.2	1.0					
	BA	154.0	182.0	28.0	5.7	5.6	5.1	3.5	4.0
	TV	225.9	291.5	65.6	14.2	11.9	11.3	12.2	11.9
	MV	166.8	232.9	66.1	13.1	12.4	10.9	9.9	11.3
Quebec 16	dbh	13.6	14.7	1.1					
	BA	14.4	16.7	2.3	6.5	1.1	3.1	1.9	1.8
	TV	94.2	110.2	16.0	3.3	7.5	21.0	15.0	13.5
	MV	77.9	94.1	16.2	3.1	8.2	20.8	13.9	13.1
Quebec 17	dbh	10.2	11.5	1.3					
	BA	15.0	18.4	3.4	0.4	0.9	0.6	0.4	-0.3
	TV	83.2	109.7	26.5	3.9	8.4	5.0	3.4	-2.9
	MV	56.8	81.5	24.7	4.5	7.9	5.1	3.6	-3.0
Quebec 18	dbh	9.6	10.8	1.2					
	BA	19.7	25.1	5.4	0.9	1.7	2.6	2.0	2.5
	TV	123.2	169.5	46.3	7.8	13.9	20.4	16.5	21.4
	MV	66.7	115.3	48.6	7.0	13.3	24.0	16.6	19.3

Appendix II. (Continued)

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 19	dbh	12.6	13.9	1.3					
	BA	19.8	24.2	4.4	0.6	0.8	1.4	1.8	1.2
	TV	144.2	188.1	43.9	5.2	7.4	12.4	15.7	11.7
	MV	114.1	157.6	43.5	4.4	6.9	13.0	15.8	10.6
Quebec 20	dbh	14.6	16.0	1.4					
	BA	25.7	30.7	5.0	1.1	1.4	0.1	0.8	0.7
	TV	198.9	255.0	56.1	11.1	13.2	0.4	7.9	6.9
	MV	170.2	225.5	55.3	8.3	11.9	-0.3	-1.1	6.2
Quebec 21	dbh	10.6	11.8	1.2					
	BA	20.9	27.7	6.8	0.8	1.1	1.5	-0.3	0.7
	TV	105.7	142.1	36.4	7.0	9.8	11.3	-1.0	5.3
	MV	72.4	107.7	35.3	4.2	10.7	9.6	-0.8	2.7
Quebec 22	dbh	11.7	12.9	1.2					
	BA	20.0	24.1	4.1	1.0	0.0	1.1	0.2	0.9
	TV	105.2	143.1	37.9	9.0	0.2	8.2	3.0	9.0
	MV	79.6	116.9	37.3	8.8	0.3	7.5	2.5	7.9
Quebec 23	dbh	9.2	10.9	1.7					
	BA	19.1	27.2	8.2	-0.6	0.1	1.5	0.2	1.1
	TV	109.4	194.8	85.4	6.7	11.0	12.7	9.4	10.1
	MV	49.3	135.9	86.6	0.0	7.0	11.8	3.2	6.6
Quebec 24	dbh	10.8	12.1	1.3					
	BA	22.6	29.0	6.4	1.2	1.1	1.6	2.4	2.6
	TV	142.9	205.9	63.0	9.7	11.0	14.6	24.4	21.9
	MV	103.0	162.2	59.2	13.5	10.4	15.7	23.0	22.0
Quebec 25	dbh	11.1	12.2	1.1					
	BA	21.8	26.4	4.6	1.1	0.1	1.6	1.1	1.4
	TV	104.8	142.1	37.3	6.7	-0.8	9.8	6.6	9.2
	MV	74.9	110.8	35.9	9.3	-0.7	9.7	6.4	8.0
Quebec 26	dbh	11.9	12.9	1.0					
	BA	20.4	23.9	3.5	1.1	1.7	2.6	2.5	2.3
	TV	120.7	156.2	35.5	8.0	11.5	20.7	20.0	18.7
	MV	91.7	124.7	33.0	9.2	13.2	21.2	21.4	19.2
Quebec 27				— — lost — —					
Quebec 28	dbh	14.5	15.3	0.8					
	BA	29.4	32.9	3.5	0.6	0.3	0.0	0.1	0.7
	TV	168.3	205.0	36.7	4.4	2.2	-2.5	-2.2	4.1
	MV	144.1	179.2	35.1	4.2	1.7	-2.8	-2.4	3.5
Quebec 29				— — lost — —					
Quebec 30	dbh	12.1	12.7	0.6					
	BA	29.4	32.5	3.1	0.6	-0.3	0.3	0.2	-0.1
	TV	171.0	205.7	34.7	3.3	-1.8	1.1	1.5	-3.2
	MV	137.2	164.1	26.9	5.8	-1.0	2.9	2.4	-1.2

Appendix II. (Continued)

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 31	dbh	16.1	17.3	1.2					
	BA	29.6	34.2	4.6	0.6	0.9	1.3	1.0	0.5
	TV	219.1	279.0	59.9	4.5	8.7	12.4	9.1	6.9
	MV	194.3	252.1	57.8	4.7	8.3	12.2	8.9	6.5
Quebec 32	dbh	12.3	13.7	1.4					
	BA	20.5	25.1	4.6	0.9	1.1	1.8	2.2	1.9
	TV	121.0	163.9	42.9	7.8	9.2	16.2	18.9	17.1
	MV	96.8	138.3	41.5	8.8	10.0	18.0	20.2	18.3
Quebec 33	dbh	10.5	11.9	1.4					
	BA	18.0	23.3	5.3	-0.5	0.1	-0.1	1.2	1.4
	TV	97.9	147.5	49.6	-2.9	0.2	1.1	11.8	13.5
	MV	63.1	110.7	47.6	-3.3	1.3	2.9	12.3	14.6
Quebec 34				— — lost — —					
Quebec 35	dbh	9.2	10.0	0.8					
	BA	33.0	38.8	5.8	1.5	1.2	1.9	0.8	2.2
	TV	137.9	177.5	39.6	9.0	9.9	16.4	9.8	15.9
	MV	69.0	106.3	37.3	9.2	10.7	20.6	13.5	17.8
Quebec 36	dbh	9.2	9.9	0.7					
	BA	25.1	28.8	3.7	1.4	2.8	2.7	2.9	3.6
	TV	114.1	142.9	28.8	8.5	18.4	19.4	22.6	24.1
	MV	64.1	87.8	23.7	12.0	20.3	22.5	26.9	26.8
Quebec 37	dbh	10.5	11.0	0.5					
	BA	33.5	36.6	3.1	0.6	1.5	2.1	0.9	1.2
	TV	216.2	239.0	22.8	9.7	16.8	20.3	11.7	11.7
	MV	139.9	169.5	29.6	3.2	12.0	15.6	5.4	9.5
Quebec 38	dbh	9.5	10.4	0.9					
	BA	17.8	21.9	4.1	-0.1	1.2	0.8	1.9	2.0
	TV	92.3	121.8	29.5	-0.8	10.8	6.7	14.6	14.2
	MV	48.1	77.9	29.8	-3.9	10.3	7.1	16.2	14.1
Quebec 39	dbh	8.7	9.8	1.1					
	BA	14.8	18.7	3.9	0.9	1.9	2.5	2.2	2.1
	TV	66.5	99.3	32.8	7.5	8.6	18.0	13.2	13.6
	MV	22.7	52.6	29.9	9.7	6.7	22.5	14.0	15.9
Quebec 40	dbh	12.7	14.0	1.3					
	BA	25.1	30.8	5.7	0.6	1.8	1.2	2.2	2.3
	TV	184.7	245.6	60.9	7.0	15.3	10.6	21.7	18.8
	MV	147.5	208.4	60.9	5.1	13.6	9.4	18.7	14.9
Ontario 1	dbh	12.2	13.3	1.1					
	BA	28.4	34.6	6.2	0.1	-0.2	-0.5	-0.5	-0.8
	TV	182.1	232.0	49.9	-0.2	-2.1	-4.7	-4.2	-7.1
	MV	141.5	191.1	49.6	-0.9	-3.8	-6.2	-5.5	-9.2

Appendix II. (Continued)

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Ontario 2	dbh	13.6	14.7	1.1					
	BA	32.2	37.7	5.5	0.6	0.0	0.1	0.0	0.6
	TV	234.1	282.1	48.0	4.9	-1.3	0.4	-5.8	5.5
	MV	194.3	241.4	47.1	5.3	-1.0	1.2	-3.4	5.4
Ontario 3	dbh	14.2	15.6	1.4					
	BA	21.4	26.3	4.9	1.1	0.7	1.6	1.5	0.9
	TV	155.2	211.9	56.7	10.9	7.8	15.5	14.2	9.0
	MV	132.2	186.6	54.4	10.2	7.2	15.1	13.6	8.5
Ontario 4	dbh	15.7	16.8	1.1					
	BA	26.5	31.0	4.5	0.6	0.3	0.3	1.4	1.0
	TV	216.8	283.2	66.4	2.8	0.6	1.2	11.3	7.9
	MV	191.1	254.5	63.4	3.2	0.8	1.3	11.5	7.9
Ontario 5	dbh	15.3	16.4	1.1					
	BA	26.5	30.8	4.3	1.4	0.9	0.9	1.2	0.9
	TV	230.3	279.4	49.1	13.3	9.9	8.9	12.4	9.0
	MV	201.3	249.8	48.5	15.6	9.7	9.4	12.6	9.0
Ontario 6	dbh	12.6	13.9	1.3					
	BA	24.3	30.1	5.8	1.5	1.3	2.1	2.4	2.3
	TV	183.0	257.4	74.4	16.4	14.0	22.9	25.1	24.2
	MV	146.4	217.4	71.1	14.4	12.1	20.4	22.5	25.6
Ontario 7	dbh	10.7	12.1	1.4					
	BA	23.7	30.8	7.1	0.5	1.6	2.0	2.5	2.1
	TV	155.6	239.5	83.9	4.1	13.6	15.5	24.0	18.7
	MV	100.8	181.7	80.9	4.8	13.7	17.6	24.3	17.9
Ontario 8	dbh	9.6	11.1	1.5					
	BA	22.7	31.6	8.9	0.3	0.0	1.6	2.2	1.7
	TV	137.1	234.0	96.9	9.3	-0.8	15.5	21.8	16.5
	MV	74.5	167.7	93.2	7.4	-1.0	13.0	21.6	16.1
Ontario 9	dbh	8.9	10.6	1.7					
	BA	16.6	23.9	7.3	1.5	2.5	2.7	1.4	1.9
	TV	85.9	154.6	68.7	11.7	18.0	21.0	9.8	14.5
	MV	39.1	101.7	62.6	12.4	22.5	28.5	14.2	16.6
Ontario 10	dbh	8.9	10.9	2.0					
	BA	18.0	28.2	10.2	0.5	1.6	0.8	1.3	2.3
	TV	89.8	179.7	89.9	1.7	12.3	7.8	9.0	14.8
	MV	46.6	129.9	83.3	-5.9	13.9	6.6	6.8	8.3
Ontario 11	dbh	15.1	16.0	0.9					
	BA	39.2	44.3	5.1	-1.8	-1.0	-2.4	0.7	0.2
	TV	273.1	321.5	48.4	-14.8	-9.5	-20.8	7.6	-5.0
	MV	238.3	285.6	47.3	-15.0	-9.9	-21.0	6.8	-1.0

Appendix II. (Continued)

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Ontario 12	dbh	20.7	21.7	1.0					
	BA	52.5	57.2	4.7	2.0	0.8	0.2	0.0	0.5
	TV	397.2	448.4	51.2	19.6	8.2	4.9	4.8	8.0
	MV	366.5	415.6	49.1	20.8	6.3	5.6	5.7	6.2
Ontario 13	dbh	14.9	16.4	1.5					
	BA	28.1	34.4	6.3	1.6	1.8	-0.6	1.8	0.6
	TV	218.1	288.1	70.0	14.2	17.6	-7.0	16.4	4.6
	MV	189.5	257.2	67.7	13.9	17.7	-7.1	16.2	4.4
Ontario 14				— — lost — —					
Ontario 15	dbh	14.0	15.4	1.4					
	BA	29.3	35.9	6.6	0.2	0.5	-1.0	1.8	0.5
	TV	213.3	290.3	77.0	0.8	4.1	-11.8	14.4	4.3
	MV	180.5	255.0	74.5	0.9	4.3	-11.5	14.5	4.3
Ontario 16	dbh	13.9	15.4	1.5					
	BA	23.3	28.9	5.6	0.3	0.5	0.7	2.2	1.3
	TV	168.7	236.9	68.2	3.7	4.0	6.5	20.5	12.8
	MV	142.4	207.8	65.4	4.0	4.1	6.6	20.1	12.3
Ontario 17	dbh	9.2	10.7	1.5					
	BA	17.9	24.3	6.4	0.3	0.4	-0.2	0.4	-0.5
	TV	102.7	164.1	61.4	0.4	2.2	-1.1	4.9	-3.1
	MV	48.1	111.3	63.2	3.1	3.6	-3.0	2.3	-4.4
Ontario 18	dbh	8.9	10.1	1.2					
	BA	21.4	28.0	6.6	2.1	3.6	2.7	1.9	3.0
	TV	116.1	170.5	54.4	13.7	24.2	19.1	13.3	20.6
	MV	48.0	103.3	55.3	17.9	30.6	21.2	15.3	26.2
Manitoba 1	dbh	14.2	15.2	1.0					
	BA	31.7	36.9	5.2	0.8	0.9	-0.2	0.8	1.1
	TV	218.9	277.9	59.0	5.2	7.1	-6.2	4.9	3.5
	MV	186.4	243.6	57.2	5.4	7.8	-5.6	4.9	4.2
Manitoba 2	dbh	14.0	15.0	1.0					
	BA	28.6	33.2	4.6	0.5	1.4	0.5	0.2	1.1
	TV	195.4	241.9	46.5	4.5	17.6	6.8	3.7	13.5
	MV	164.3	210.0	45.7	4.3	16.4	6.1	2.8	12.7
Manitoba 3	dbh	12.8	13.7	0.9					
	BA	27.0	31.0	4.0	2.2	1.7	1.6	2.2	2.2
	TV	159.2	193.4	34.2	10.2	16.6	12.9	14.8	15.9
	MV	125.4	160.4	35.0	16.1	15.0	11.8	13.9	16.4
Manitoba 4	dbh	14.7	15.6	0.9					
	BA	31.0	35.2	4.2	1.6	1.6	2.3	1.9	1.7
	TV	204.4	249.3	44.9	14.6	13.1	18.1	15.3	10.7
	MV	172.4	216.1	43.7	14.2	13.0	18.3	15.4	12.9

Appendix II. (Concluded)

Installation	Stand	Untreated stand			Response				
	Parameter	initial	final	increment	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Manitoba 5	dbh	9.7	10.4	0.7					
	BA	38.2	44.5	6.3	1.2	1.4	1.4	0.8	0.9
	TV	202.1	253.6	51.5	7.3	3.8	6.3	0.5	5.3
	MV	122.7	171.1	48.4	8.8	-0.6	7.2	0.4	4.3
Manitoba 6	dbh	13.1	13.7	0.6					
	BA	39.4	43.4	4.0	1.6	2.2	0.8	0.5	2.0
	TV	248.3	290.1	41.8	13.8	22.2	7.8	2.6	18.6
	MV	203.7	242.8	39.1	13.4	21.3	7.8	2.5	18.0
Manitoba 7	dbh	10.8	11.6	0.8					
	BA	38.8	46.1	7.3	0.2	0.8	0.1	-0.4	0.5
	TV	197.8	252.4	54.6	-0.3	3.8	0.1	-3.0	1.7
	MV	128.5	186.6	58.1	-5.0	0.6	-1.9	-5.9	1.8
Manitoba 8	dbh	13.5	14.1	0.6					
	BA	51.9	57.3	5.4	-0.1	-0.5	-0.1	0.0	0.1
	TV	345.4	407.1	61.7	-4.2	-8.3	-4.6	-4.3	-4.4
	MV	286.6	345.1	58.5	-2.5	-6.4	-3.2	-3.2	-3.5
Saskatchewan 1	dbh	9.7	10.5	0.8					
	BA	34.1	40.2	6.1	0.4	2.8	3.4	3.6	3.0
	TV	197.3	239.9	42.6	4.3	19.9	26.5	27.2	25.2
	MV	112.3	159.1	46.8	5.5	20.6	27.9	28.9	25.5
Saskatchewan 2	dbh	14.7	15.6	0.9					
	BA	27.0	30.8	3.8	0.9	1.4	1.5	1.2	0.9
	TV	208.7	251.4	42.7	7.8	12.6	13.6	11.4	9.0
	MV	179.9	221.1	41.2	7.5	12.1	14.2	11.1	8.7
Saskatchewan 3				— — lost — —					
Saskatchewan 4				— — lost — —					
Saskatchewan 5	dbh	12.7	13.7	1.0					
	BA	27.9	32.5	4.6	0.6	3.2	1.7	2.3	2.3
	TV	205.8	249.6	43.8	5.5	31.2	16.0	19.5	22.3
	MV	163.3	205.7	42.4	6.7	33.6	16.7	20.6	23.8
Alberta 1	dbh	21.8	23.3	1.5					
	BA	39.1	44.3	5.2	0.4	1.1	-0.4	-0.4	-0.2
	TV	374.9	438.3	63.4	10.0	17.5	2.0	-1.4	4.1
	MV	344.6	407.3	62.7	7.4	15.6	0.5	-2.2	1.8
Alberta 2	dbh	11.1	12.2	1.1					
	BA	42.0	51.5	9.5	0.7	0.6	-0.5	0.6	-0.2
	TV	265.4	365.9	100.5	-2.7	-1.9	-9.1	6.2	0.7
	MV	190.3	285.9	95.6	-5.2	-3.6	-9.3	3.4	-1.0
Alberta 3	dbh	9.7	10.6	0.9					
	BA	30.5	36.6	6.1	1.2	2.5	2.5	2.6	2.7
	TV	200.8	261.3	60.5	8.9	20.3	21.4	20.7	23.4
	MV	143.6	200.7	57.1	9.3	19.4	21.0	20.4	20.9

+ dbh (cm), BA (m^2/ha), TV and MV (m^3/ha). Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Appendix III. Statistical significance of fertilization effects on TV increments in individual installations.

Installation	F†	Treatments in sequence of increasing mean TV increment††					
Nova Scotia 1	5.91	2N + P	C	2N + K	2N + PK	N	2N
Nova Scotia 2	2.62	C	2N + K	N	2N + P	2N + PK	2N
Nova Scotia 3		— — lost — —					
Nova Scotia 4	2.48	C	2N + P	2N + K	N	2N + PK	2N
Nova Scotia 5	4.07	2N	N	2N + P	C	2N + K	2N + PK
New Brunswick 1		— — lost — —					
New Brunswick 2		— — lost — —					
Quebec 1	4.37	C	N	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Quebec 2	1.09	C	2N + P	2N	N	2N + K	2N + PK
Quebec 3		— — lost — —					
Quebec 4	5.06*	C	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Quebec 5	7.84*	C	2N	2N + K	N	2N + PK	2N + P
Quebec 6	0.68	C	2N + PK	2N + K	2N + P	N	2N
Quebec 7	1.66	2N	N	C	2N + PK	2N + K	2N + P
Quebec 8	11.54**	2N + K	C	2N	N	2N + P	2N + PK
Quebec 9	1.02	C	2N + K	2N + K	2N	2N + P	2N + PK
Quebec 10	4.58	C	N	2N + PK	2N + P	2N + K	2N
Quebec 11	6.80*	C	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Quebec 12	1.88	N	C	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Quebec 13	1.05	C	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P
Quebec 14	0.68	C	2N + PK	2N + K	2N + P	2N	N
Quebec 15	0.81	C	2N + P	2N + PK	2N	2N + K	N
Quebec 16	0.93	C	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Quebec 17	1.32	2N + PK	C	2N + K	N	2N + P	2N
Quebec 18	6.46*	C	N	2N	2N + K	2N + P	2N + PK
Quebec 19	8.34*	C	N	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Quebec 20	1.49	C	2N + P	2N + PK	2N + K	N	2N
Quebec 21	3.85	2N + K	C	2N + PK	N	2N	2N + P
Quebec 22	3.15	C	2N	2N + K	2N + P	2N + PK	N
Quebec 23	3.32	C	N	2N + K	2N + PK	2N	2N + P
Quebec 24	1.95	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Quebec 25	2.58	2N	C	2N + K	N	2N + PK	2N + P
Quebec 26	5.41*	C	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Quebec 27		— — lost — —					
Quebec 28	1.14	2N + P	2N + K	C	2N	2N + PK	N
Quebec 29		— — lost — —					
Quebec 30	0.29	2N + PK	2N	C	2N + P	2N + K	N
Quebec 31	1.35	C	N	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Quebec 32	3.47	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Quebec 33	3.66	N	C	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 34		— — lost — —					
Quebec 35	18.27**	C	N	2N + K	2N	2N + PK	2N + P
Quebec 36	6.04*	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Quebec 37	7.72*	C	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Quebec 38	6.70*	N	C	2N + P	2N	2N + PK	2N + K
Quebec 39	1.54	C	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Quebec 40	2.30	C	N	2N + P	2N	2N + PK	2N + K

Appendix III. Statistical significance of fertilization effects on TV increments in individual installations. (Concluded)

Installation	F†	Treatments in sequence of increasing mean TV increment††					
Ontario 1	0.19	2N + PK	2N + P	2N + K	2N	N	C
Ontario 2	1.28	2N + K	2N	C	2N + P	N	2N + PK
Ontario 3	3.30	C	2N	2N + PK	N	2N + K	2N + P
Ontario 4	0.93	C	2N	2N + P	N	2N + PK	2N + K
Ontario 5	7.26*	C	2N + P	2N + PK	2N	2N + K	N
Ontario 6	8.02*	C	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 7	2.26	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 8	1.65	2N	C	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 9	1.43	C	2N + K	2N	2N + PK	2N	2N + P
Ontario 10	12.30*	C	N	2N + P	2N + K	2N	2N + PK
Ontario 11	9.80*	2N + P	N	2N	2N + PK	C	2N + K
Ontario 12	0.55	C	2N + K	2N + P	2N + PK	2N	N
Ontario 13	9.83*	2N + P	C	2N + PK	N	2N + K	2N
Ontario 14		— — lost — —					
Ontario 15	3.47	2N + P	C	N	2N	2N + PK	2N + K
Ontario 16	8.13*	C	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 17	0.32	2N + PK	2N + P	C	N	2N	2N + K
Ontario 18	5.34*	C	2N + K	N	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 1	0.38	2N + P	C	2N + PK	2N + K	N	2N
Manitoba 2	3.76	C	2N + K	N	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 3	7.34*	C	2N + P	2N + K	2N + PK	N	2N
Manitoba 4	1.79	C	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P
Manitoba 5	0.35	C	2N + K	2N	2N + PK	2N + P	N
Manitoba 6	3.92	C	2N + K	2N + P	N	2N + PK	2N
Manitoba 7	1.10	2N + K	N	C	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 8	0.95	2N	2N + P	2N + PK	2N + K	N	C
Saskatchewan 1	10.11*	C	N	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Saskatchewan 2	4.85	C	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Saskatchewan 3		— — lost — —					
Saskatchewan 4		— — lost — —					
Saskatchewan 5	2.20	C	N	2N + P	2N + K	2N + PK	2N
Alberta 1	3.35	2N + K	C	2N + P	2N + PK	N	2N
Alberta 2	0.83	2N + P	N	2N	C	2N + PK	2N + K
Alberta 3	4.29	C	N	2N	2N + K	2N + P	2N + PK

† F ratios obtained by COVAR analysis are underlined and the sequence is presented for the adjusted volume increments.

†† Treatments underscored by the same lines had means which did not differ significantly at P = 0.1. Sequences with no underlining did not include significant treatment effects.

* Significant at P = 0.05.

** Significant at P = 0.01.

Appendix IV. Volume loss due to tree mortality and gain in merchantable volume due to ingrowth of small trees by installation and treatment.

Installation	Mortality						Ingrowth					
	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha†						m^3/ha†					
Nova Scotia 1	34.1	72.4	106.7	155.6	25.0	118.2	0.0	0.0	0.8	0.4	0.9	0.8
Nova Scotia 2	39.4	71.2	65.0	41.6	59.9	22.2	0.9	0.9	4.9	5.0	0.0	1.3
Nova Scotia 3	— — lost — —											
Nova Scotia 4	56.8	64.8	66.7	70.6	48.2	52.0	0.0	0.9	0.0	0.0	1.7	0.0
Nova Scotia 5	26.4	37.3	28.2	41.8	48.7	19.9	1.8	2.8	3.1	5.8	4.2	1.9
Quebec 1	85.5	62.9	69.8	70.2	69.8	86.1	0.9	3.7	0.0	2.0	1.4	0.0
Quebec 2	54.1	61.5	38.1	66.9	75.5	53.5	1.5	2.6	8.7	4.0	1.2	3.7
Quebec 3	— — lost — —											
Quebec 4	64.9	67.7	78.1	63.6	61.4	96.1	1.4	3.3	2.2	0.0	5.2	3.2
Quebec 5	20.1	27.4	24.4	31.7	27.9	36.0	18.0	17.8	19.4	22.0	23.0	28.3
Quebec 6	13.5	21.8	24.9	15.8	26.0	23.4	2.5	0.5	5.9	1.5	3 0	0.7
Quebec 7	46.9	46.9	82.0	98.0	66.3	106.2	8.4	6.0	0.6	1.8	3.8	2.2
Quebec 8	29.6	29.9	27.1	32.3	52.4	57.9	1.3	1.9	0.3	4.1	0.8	3.4
Quebec 9	105.0	62.3	59.6	65.6	64.8	33.9	7.6	3.9	2.6	2.6	2.5	12.9
Quebec 10	23.1	10.9	14.6	11.3	11.0	13.7	9.8	14.6	11.8	7.4	8.2	6.6
Quebec 11	19.0	24.8	21.0	8.3	10.5	28.1	2.0	3.0	1.8	4.6	2.1	0.5
Quebec 12	38.1	50.0	65.3	42.4	47.2	24.9	3.5	10.6	7.3	4.9	5.1	11.0
Quebec 13	27.8	21.9	11.8	15.1	15.6	18.2	3.4	9.7	2.7	8.3	9.5	10.0
Quebec 14	8.1	3.1	4.1	7.2	1.6	6.1	5.9	10.7	15.5	7.4	12.6	8.4
Quebec 15	4.3	14.6	18.2	22.7	12.8	18.0	7.4	5.9	9.6	9.5	1.8	6.0
Quebec 16	62.1	53.9	80.1	29.3	96.6	70.3	0.7	0.9	2.4	0.7	0.3	1.3
Quebec 17	11.6	22.8	8.9	6.0	17.4	37.6	8.6	5.9	11.6	7.1	5.8	3.9
Quebec 18	9.6	16.3	18.6	26.7	27.2	34.2	11.7	6.8	7.3	20.9	6.6	5.3
Quebec 19	9.6	14.5	17.2	17.1	13.4	20.8	2.4	1.2	0.8	4.2	3.3	0.7
Quebec 20	47.5	61.3	57.8	75.8	49.6	67.3	3.6	4.2	2.0	0.6	3.8	0.9
Quebec 21	4.2	11.7	41.7	21.1	26.9	26.1	8.0	2.9	6.5	5.4	1.5	7.9
Quebec 22	6.3	16.2	35.8	19.1	12.1	8.7	2.6	4.2	5.5	6.0	3.9	2.1
Quebec 23	25.6	28.9	29.0	21.7	24.9	22.5	24.8	2.3	4.7	28.6	4.5	26.6
Quebec 24	9.2	6.7	20.6	8.0	9.2	16.8	5.9	6.8	2.2	4.4	4.3	3.9
Quebec 25	5.0	0.0	3.6	1.4	0.7	1.5	4.6	14.2	6.0	9.1	11.0	4.1
Quebec 26	4.6	5.5	5.5	7.4	4.6	3.4	1.7	2.6	4.5	1.9	2.6	0.9
Quebec 27	— — lost — —											
Quebec 28	34.0	36.0	40.5	68.5	67.4	76.0	2.2	1.0	0.0	0.0	1.2	0.6
Quebec 29	— — lost — —											
Quebec 30	20.2	55.8	38.9	75.0	62.1	89.6	0.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Quebec 31	14.4	5.7	8.6	23.8	12.1	7.6	1.0	0.7	0.0	0.4	0.5	0.5
Quebec 32	5.8	9.5	27.1	16.2	15.8	12.8	5.8	10.5	5.3	10.0	7.4	11.2
Quebec 33	9.7	20.6	8.7	15.8	10.4	17.2	7.0	1.7	5.6	5.9	5.9	6.7
Quebec 34	— — lost — —											
Quebec 35	6.9	7.2	9.2	13.3	19.2	13.7	8.1	9.9	7.5	11.5	9.6	14.7
Quebec 36	4.8	1.7	4.3	9.2	6.6	8.2	3.7	9.9	9.2	9.1	9.1	10.9
Quebec 37	19.6	74.1	91.8	156.7	96.0	66.7	5.7	0.5	2.4	1.4	0.4	3.5
Quebec 38	10.5	9.0	4.4	9.5	6.9	8.1	6.9	4.2	5.7	8.2	10.3	12.1
Quebec 39	9.5	9.8	4.3	10.0	8.6	6.3	10.9	13.5	22.9	20.7	22.3	23.3
Quebec 40	11.0	4.6	10.0	16.9	9.9	20.0	2.8	1.6	0.0	2.4	1.7	3.0

Appendix IV. (Concluded)

Installation	Mortality						Ingrowth					
	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha†						m^3/ha†					
Ontario 1	36.5	35.3	10.0	19.5	37.7	48.1	3.3	0.0	0.4	0.6	0.5	0.4
Ontario 2	42.1	27.5	40.5	66.1	18.3	30.2	1.6	0.0	0.9	0.9	0.4	0.4
Ontario 3	21.5	11.8	7.2	8.9	17.6	18.7	0.2	0.0	0.0	0.7	0.0	0.2
Ontario 4	24.2	17.9	20.2	19.8	21.6	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 5	23.8	20.2	18.6	23.6	12.5	31.9	0.0	0.7	0.0	0.4	0.3	0.5
Ontario 6	12.7	20.0	25.6	17.0	27.3	20.1	1.0	1.3	0.8	0.0	1.1	6.6
Ontario 7	8.0	5.8	17.0	15.2	26.3	11.8	6.8	10.2	5.0	18.1	9.5	4.9
Ontario 8	15.7	16.4	33.5	32.4	20.6	25.4	15.2	6.7	10.1	9.6	22.3	15.1
Ontario 9	4.6	5.1	33.2	30.2	48.9	14.2	25.6	25.2	17.2	34.8	9.8	18.1
Ontario 10	1.5	2.5	6.9	0.7	0.6	2.2	22.4	42.4	27.2	24.6	45.8	57.8
Ontario 11	34.5	96.1	55.3	155.9	50.1	52.3	0.0	0.0	0.0	4.0	0.4	0.3
Ontario 12	96.0	287.0	142.9	116.7	209.9	173.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 13	37.7	47.1	31.3	44.1	36.3	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 14	— — lost — —											
Ontario 15	25.9	29.4	51.2	37.5	26.5	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ontario 16	20.7	16.1	12.5	27.7	16.3	22.6	0.0	0.3	0.0	0.8	1.3	0.0
Ontario 17	44.1	33.7	39.0	44.7	35.2	85.0	13.9	24.2	22.6	9.8	7.3	9.8
Ontario 18	20.6	17.6	16.7	21.2	24.6	15.0	17.1	34.3	49.4	27.8	18.8	31.3
Manitoba 1	35.2	11.0	12.5	19.6	14.3	24.3	0.4	0.8	1.1	0.4	0.0	0.3
Manitoba 2	27.0	19.4	8.1	28.5	19.0	23.1	0.7	1.3	0.0	0.0	1.9	3.3
Manitoba 3	16.9	17.3	22.5	20.8	17.0	15.6	1.8	2.0	0.5	1.1	1.3	2.6
Manitoba 4	22.0	20.9	10.9	20.9	6.8	19.0	0.0	0.7	0.4	0.4	1.0	2.7
Manitoba 5	13.8	2.2	5.5	13.3	3.4	19.0	6.5	10.6	16.6	13.7	16.8	8.6
Manitoba 6	46.7	26.0	24.6	40.8	61.9	36.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6
Manitoba 7	13.6	12.5	8.8	10.2	13.3	11.4	10.0	9.1	13.0	10.4	8.0	15.9
Manitoba 8	49.5	42.4	31.2	54.3	36.6	26.4	0.0	1.2	1.3	0.6	0.0	0.0
Saskatchewan 1	5.6	16.2	19.9	14.5	5.3	15.5	8.1	5.5	13.9	12.3	17.4	7.1
Saskatchewan 2	19.6	16.0	17.6	19.1	15.2	23.3	0.9	1.1	1.8	3.1	0.6	0.2
Saskatchewan 3	— — lost — —											
Saskatchewan 4	— — lost — —											
Saskatchewan 5	11.6	20.4	13.8	34.4	10.8	23.3	1.0	4.9	5.1	0.6	5.9	2.8
Alberta 1	44.9	110.8	39.2	105.6	146.6	59.3	1.8	0.0	0.5	0.5	0.6	0.0
Alberta 2	32.1	4.1	18.9	4.4	10.3	18.0	4.7	17.4	6.4	7.5	1.8	2.4
Alberta 3	13.9	11.3	8.4	34.9	11.5	7.6	4.8	2.1	3.4	3.3	2.3	3.9

† Conversion factors to English units are given in Appendix V.

Appendix V. Metric units and ratios, and their English equivalents.

1 cm	0.39370 inch
1 m	3.28084 feet
1 m^2	10.7639 square feet
1 ha	2.47105 acres
1 m^3	35.3147 cubic feet
	10.353147 cunit
1 kg	2.20462 pounds
1 m^2/ha	4.35600 square feet per acre
1 kg/ha	0.892179 pounds per acre

Gouvernement du Canada
Government of Canada

Service canadien des forêts
Canadian Forestry Service

Programme interprovincial de fertilisation des forêts 1968-1983

H.H. Krause, G.F. Weetman
E. Koller et J.M. Veilleux

Rapport d'information DPC-X-21
Direction générale des sciences forestières

DPC-X-21

Résultats des remesurages de l'accroissement décennal

Canada

SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
GOUVERNEMENT DU CANADA

Le Service canadien des forêts (SCF) réunit la majorité des spécialistes fédéraux en foresterie; il a été désigné comme l'organisme officiel du gouvernement responsable du secteur forestier. Son objectif général est de promouvoir l'aménagement et l'utilisation judicieux des ressources forestières du Canada pour le plus grand bien économique, social et environnemental des Canadiens.

Voici les principales fonctions du SCF:

1. Coordonner les politiques fédérales afin de favoriser l'amélioration de la gestion des ressources et l'expansion de l'industrie forestière.
2. Fournir une orientation scientifique et technologique dans le domaine de la foresterie, par la recherche et le développement.
3. Fournir et analyser les statistiques et l'information nationales et internationales qui serviront à établir les politiques.
4. Mettre au point et homologuer des codes et des normes en matière de rendement des produits du bois.
5. Protéger les forêts canadiennes en luttant contre les ravageurs étrangers.
6. Parrainer l'utilisation éventuelle des ressources forestières pour la production d'énergie.
7. Adhérer aux objectifs environnementaux du gouvernement fédéral.

Les programmes du SCF sont menés de concert avec ceux d'autres organismes forestiers par l'entremise de divers mécanismes dont le Conseil canadien des ministres des Forêts, le Comité de la stratégie forestière, les comités de gestion des programmes fédéraux-provinciaux de développement forestier, les comités nationaux et régionaux consultatifs sur la recherche, de même que divers comités techniques axés sur des domaines de programmes spécifiques.

Le SCF comprend une administration centrale, six centres de foresterie et deux instituts nationaux. Les centres de foresterie doivent répondre aux impératifs régionaux et entretenir une liaison étroite avec les ministères provinciaux des Forêts. Ils participent également à des programmes nationaux dont ils assument fréquemment la direction. Les instituts nationaux sont les foyers des programmes d'envergure nationale.

THE CANADIAN FORESTRY SERVICE
GOVERNMENT OF CANADA

The Canadian Forestry Service is the principal source of federal expertise in forestry and has been designated as the government's lead agency for forestry matters. Its general objective is to promote the wise management and use of Canada's forest resources for the economic, social, and environmental benefit of Canadians.

The following are the main functions of the CFS:

1. Coordination of federal policies for the promotion of better resource management and forest industry development.
2. Provision of scientific and technological leadership in forestry through research and development.
3. Provision and analysis of national and international statistics and information as a basis for policy formulation.
4. Development and certification of codes and standards for wood product performance.
5. Protection of Canada's forests from foreign pests.
6. Fostering the potential use of the forest resource for energy.
7. Contributing to the environmental objectives of the Government of Canada.

Canadian Forestry Service programs are coordinated with those of other forestry agencies through a variety of mechanisms, including the Canadian Council of Forestry Ministers, the Forest Sector Strategy Committee, management committees for Federal-Provincial Forestry Development programs, national and regional Research Advisory Committees, and various technical committees for specific program areas.

The Canadian Forestry Service comprises a headquarters unit, six forestry centres, and two national institutes. The forestry centres are responsive to regional priorities and maintain close liaison with the respective provincial government forestry departments and other clients. They also participate in, and frequently lead, national programs. The national institutes provide the focus for programs of national scope.

Programme interprovincial de fertilisation des forêts 1968-1983

81 dispositifs expérimentaux normalisés établis dans des peuplements non aménagés d'âge moyen de 7 provinces participantes

Rapport final

Résultats des remesurages de l'accroissement décennal

G.F. Weetman[1], H.H. Krause[2]
E. Koller[3] et J.-M. Veilleux[4]

Rapport d'information DPC-X-21
Service canadien des forêts
Ottawa, 1987

[1]Faculté de Foresterie, Université de la Colombie-Britannique.
[2]Faculté de Foresterie, Université du Nouveau-Brunswick.
[3]Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers.
[4]Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

© Ministre des Approvisionnements et Services
Canada 1987

Numéro de catalogue F046-13/21-1987
ISBN 0-662-55143-5
ISSN 0705-324X

Il est possible d'obtenir des exemplaires de cette publication auprès de la:

Direction des communications
Place Vincent-Massey, 21e étage
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

Des copies ou microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

Imprimé au Canada

Résumé

Le Programme interprovincial de fertilisation des forêts comporte quelque 81 dispositifs expérimentaux normalisés qui ont été établis par les services forestiers provinciaux du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, du Manitoba et de l'Alberta, et par le Service canadien des forêts en Nouvelle-Écosse et en Saskatchewan. 73 de ces dispositifs étaient remesurés après 10 saisons de croissance. Ces expériences avaient pour but d'étudier les effets de l'application d'azote (N) sous forme d'urée aux taux de 112 et de 224 kg/ha, seul ou combiné au phosphore (P) ou au potassium (K) ou aux deux à la fois, sur la croissance de peuplements de résineux au stade de perchis ou en voie d'atteindre leur maturité. Dans les traitements combinés, N a été appliqué au taux le plus élevé, P sous forme de superphosphate triple au taux de 112 kg/ha et K sous forme de chlorure de potassium, au même taux.

Après 5 ans, la fertilisation a augmenté la croissance de façon significative dans 23 des 81 dispositifs. Les réactions significatives de la croissance ont été plus fréquentes dans les peuplements de pins gris. Les augmentations de l'accroissement quinquennal en volume total du peuplement varient entre 4,2 et 19,9 m^3/ha, soit de 24 à 111 %. Les traitements ne diffèrent pas de façon significative entre eux, même si l'apport de K a apparemment favorisé la croissance par rapport au témoin. N est le seul élément qui améliore la croissance des peuplements.

Les réactions aux traitements de fertilisation ont été fréquentes dans les peuplements d'épinettes noires et elles ont été moins fortes que dans la plupart des peuplements de pins gris. Dans les peuplements mélangés, le pin gris réagit plus fortement aux traitements de fertilisation que l'épinette noire. Les peuplements de sapins baumiers et de pins gris présentent des modalités et des amplitudes similaires de réaction d'accroissement en volume total à la suite des applications d'engrais.

Après 5 ans, 3 peuplements d'épinettes blanches en Alberta ont accusé une augmentation moyenne d'accroissement quinquennal de 12,1 m^3/ha (soit 35 %) à la suite de l'application de N à forte dose, mais aucune réaction n'a été obtenue pour la même essence dans les Maritimes. Pour l'épinette rouge, peuplement sur 3 montre une réaction modérée de croissance à l'application de N seul à forte dose et à la combinaison N, P et K. Le gain le plus élevé en volume total, soit 37,3 m^3/ha ou 111 % de l'accroissement quinquennal, a été obtenu par application d'engrais à base de N, de P et de K dans un peuplement de peupliers faux-trembles en Saskatchewan.

Après 10 ans, la croissance nette a été améliorée de façon significative par la fertilisation dans 19 dispositifs. Partout, à l'exception des dispositifs avec le pin gris, les accroissements moyens de chaque essence pour la période de 10 ans ont été largement diminués par d'importantes pertes dues à la mortalité dans les peuplements d'âge moyen, non aménagés et de forte densité, qui étaient disponibles pour les essais. Dans les 28 dispositifs avec le pin gris, les accroissements nets moyens après 10 ans varient de 5 à 15 m^3/ha.

L'azote est le seul élément qui produit les réactions les plus cohérentes. Cependant, plusieurs dispositifs montrent les meilleurs taux de croissance avec les traitements combinés de N et de P, avec ou sans K; toutefois, les réactions ne sont pas souvent significatives. Quelques dispositifs montrent que la croissance est améliorée de façon marquée avec un ou plusieurs des traitements combinés, mais pas avec N seul.

Les efforts en vue de corréler la réaction à la fertilisation après 5 ans avec les conditions des peuplements et les facteurs du site se sont généralement avérés vains. Cependant, une bonne corrélation a été obtenue entre la réaction aux traitements et les concentrations d'éléments dans le feuillage, avant traitement, dans les peuplements de pins gris.

Les études économiques des réactions obtenues dans les essais du programme interprovincial ainsi que dans d'autres expériences similaires avec le pin gris ont démontré que l'emploi des engrais peut être financièrement intéressant dans certaines conditions. Cependant, dans la plupart des régions du centre et de l'est du Canada, les problèmes liés à l'aménagement pourraient restreindre l'emploi des engrais, surtout en ce qui concerne les importantes pertes dues à la mortalité périodique dans les peuplements de résineux d'âge moyen, non aménagés et de forte densité.

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX vii

LISTE DES FIGURES viii

AVANT-PROPOS ix

LISTE DES COLLABORATEURS x

REMERCIEMENTS xi

INTRODUCTION 1

Le Programme interprovincial de fertilisation des forêts 1
Revue d'autres études canadiennes 3
Fertilisation des forêts canadiennes à l'échelle opérationnelle 4

MÉTHODES EXPÉRIMENTALES 5

RÉSULTATS 8

Accroissement décennal et réaction à la fertilisation 9
Pin gris 9
Épinette noire 11
Pin gris — épinette noire 12
Épinette blanche 12
Épinette rouge 13
Sapin baumier 13
Traitements de fertilisation et mortalité des arbres 14
Traitements de fertilisation et les recrus 14
Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des conditions de peuplement 14
Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des teneurs du feuillage en éléments 16
Station, accroissements quinquennaux et réaction à la fertilisation 16

DISCUSSION 17

Réaction au traitement à l'azote 17
Ampleur de la réaction 17
Dose d'application 18
Supports de l'azote 19
Effets peu concluants du phosphore et du potassium 20
Efficacité de la fertilisation 20
Prédiction de la réaction 21
Considérations économiques et implications des résultats quant à l'aménagement forestier 21
Carence dans les expériences du programme interprovincial 22

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS 24

TABLEAUX 26

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 39

ANNEXE I Couvert forestier et autres caractéristiques des lieux étudiés 42

ANNEXE II Accroissement décennal et réaction à la fertilisation de chaque dispositif du programme interprovincial 44

ANNEXE III Signification statistique des effets de la fertilisation sur l'accroissement en volume total dans chaque dispositif 51

ANNEXE IV Pertes en volume dues à la mortalité des tiges et gains en volume marchand dus au recrutement, par dispositif et par traitement 53

ANNEXE V Unités et rapports métriques et leurs équivalents dans le système impérial 55

Liste des tableaux

1. Nombre des dispositifs inclus dans le remesurage décennal et de ceux qui ont été établis à l'origine (ces derniers sont inscrits entre parenthèses lorsqu'il y a différence)
2. Sections forestières, âge et indice de station des peuplements de pins gris étudiés
3. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de pins gris témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentides-Onatchiway et Argiles du Nord
4. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de pins gris témoins et dans ceux fertilisés de la section forestière Missinaibi-Cabonga
5. Volume total (VT) initial et accroissement quinquennal dans les peuplements de pins gris témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Haut de la rivière des Anglais et Forêt mixte
6. Sections forestières, âge et indice de station des dispositifs d'épinettes noires et des peuplements mélangés de pins gris et d'épinettes noires
7. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements d'épinettes noires témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Laurentides-Onatchiway et Argiles du Nord
8. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les d'épinettes noires témoins et dans ceux des sectionsMissinaibi-Cabonga et Forêt mixte
9. Volume total (VT) initial et accroissement décennal des dispositifs avec des peuplements mélangés de pins gris et d'épinettes noires
10. Sections forestières, âge et indice de station des dispositifs d'épinettes blanches, d'épinettes rouges et de sapins baumiers
11. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans des peuplements d'épinettes blanches et d'épinettes rouges avec et sans traitements de fertilisation
12. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de sapins baumiers
13. Mortalité et recrutement des arbres de petits diamètres en fraction du volume marchand au cours des 10 premières années consécutives aux traitements

Liste des figures

1. Distribution des dispositifs expérimentaux ....
2. Diagramme exprimant la séquence des calculs de l'accroissement quinquennal et de la réaction à la fertilisation ....
3. Courbe du volume total en fonction du diamètre à hauteur de poitrine ou dhp (TCL) ....
4. Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements de pins gris dans quelques sections forestières.
5. Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements d'épinettes noires et les peuplements mélangés d'épinettes noires et de pins gris dans quelques sections forestières....
6. Réactions à la fertilisation pour les peuplements d'épinettes blanches et de sapins baumiers dans quelques sections forestières ....
7. Accroissement brut (0) et net (●) en volume total selon les essences et les traitements au cours des 10 premières années consécutives à l'application d'engrais....
8. Quantités requises d'azote sous forme d'urée pour produire 1 m^3 de bois (en volume total) pour le pin sylvestre et l'épinette de Norvège en fonction de la dose d'application (tiré de Jonsson, 1977) ....
9. Exemples de la variation entre les dispositifs: volume total initial et accroissement décennal des arbres vivants (m^3/ha) ....

Avant-propos

Tous les renseignements relatifs à l'historique, à la conception, au dispositif expérimental et aux méthodes de travail du Programme interprovincial de fertilisation des forêts sont contenus dans le Rapport d'étape 1969-1972 (Service canadien des forêts, 1973).

Le plan du programme prévoyait l'établissement des dispositifs durant une période de 5 ans à partir de 1969, suivi de remesurages effectués de façon à évaluer les réactions après 5 et 10 ans.

Ces rapports publiés par le Service canadien des forêts (ministère de l'Environnement) sont les rapports techniques 16 et 22 et le rapport d'information DPC-X-8.

L'ensemble des données recueillies en 5 ans a été analysé et publié en 1982 dans le rapport d'information numéro DPC-X-12 du Service canadien des forêts. H.H. Krause, G.F. Weetman et E. Koller ont été mandatés par le Service canadien des forêts pour analyser et interpréter les données du remesurage décennal recueillies en 1979, 1980 et 1981 et pour préparer le rapport décennal.

Ce rapport final sur le Programme interprovincial de fertilisation des forêts comprend seulement les données sur la réaction après 10 ans. Des parties du rapport quinquennal sont incluses afin de présenter un rapport plus exhaustif.

Liste des collaborateurs

Le comité technique qui a dirigé l'établissement du projet et la présentation des rapports était composé de représentants des organismes suivants:

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles de l'Alberta

Ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport du Manitoba

Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario

Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec

Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick

Ministère des Terres et Forêts de la Nouvelle-Écosse

Association canadienne des pâtes et papiers

Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers

Université de la Colombie-Britannique

Université du Nouveau-Brunswick

Service canadien des forêts

Remerciements

Ce rapport est le fruit de la collaboration entre l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, les gouvernements provinciaux de l'Alberta, du Manitoba, de l'Ontario, du Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, l'Université du Nouveau-Brunswick et le Service canadien des forêts.

Les auteurs sont particulièrement redevables à I.K. Morrison, M.K. Mahendrappa, I. Bella et R.C. Yang pour leur révision critique et positive du manuscrit.

Introduction

Le Programme interprovincial de fertilisation des forêts

Les effets des engrais sur la croissance des forêts au Canada ont été étudiés depuis le début des années 50. Les premiers travaux ont été rapportés par Armson (1967), Rennie (1972) et Armson et collab. (1975). La documentation sur le sujet était encore peu abondante à la fin des années 60. Cependant, d'après les rapports de quelques études (Leech, 1969; Weetman, 1968) et selon les résultats de travaux plus anciens effectués dans des conditions écologiques similaires des forêts scandinaves, il semblerait que plusieurs types de forêts pourraient produire des réactions intéressantes au point de vue économique moyennant une fertilisation azotée (N). L'ajout d'azote (N) pourrait se justifier principalement par la tendance des forêts de conifères à former un humus brut épais dans les régions caractérisées par des températures moyennes annuelles basses et par des sols de modérément à fortement acides. Le cycle minéral est lent en présence d'un humus brut épais, et une forte compétition biologique pour l'azote peut se développer (Krause et collab., 1978; Rennie, 1978).

Dans les années 60, aucune méthode éprouvée d'analyse des sols et du feuillage n'existe pour prédire la réaction des forêts canadiennes à la fertilisation. Il s'ensuit que, parce qu'il y a un manque de moyens analytiques, il faudrait favoriser les essais empiriques sur le terrain afin d'obtenir des données de base sur la réaction à la fertilisation dans les différents types de forêts et régions du pays. Cette façon de penser prédominait au cours des années 60 quand les plans du programme interprovincial ont été conçus. Entre temps, les résultats d'autres études canadiennes ont été publiés, et d'importants changements sont survenus dans le contexte de l'offre et de la demande du bois.

Plus de 90 % de toutes les forêts commerciales du Canada sont la propriété des provinces. Aussi, en mars 1968, un programme coopératif de recherche a été proposé aux provinces par l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (ICRPP). À l'exception de Terre-Neuve, de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Colombie-Britannique, toutes les provinces ont accepté d'y participer. Peu de temps après, le ministère des Forêts de la Colombie-Britannique entreprenait l'établissement de son propre réseau d'essais de fertilisation dans les forêts du littoral pour le douglas taxifolié (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) et la pruche occidentale (*Tsuga heterophylla* [Raf.] Sarg.) (Ministère des Forêts, de la Colombie-Britannique, 1983).

La proposition originale relative aux études interprovinciales prévoyait l'établissement de 120 dispositifs normalisés sur différentes stations dans différents types de couvert forestier. Finalement, 81 dispositifs ont été mis en place dans les peuplements de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.), d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), d'épinettes blanches (*Picea glauca* [Moench] Voss), d'épinettes rouges (*Picea rubens* Sarg.), de sapins baumiers (*Abies balsamea* [L.] Mill.) et de peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides* Michx.) de 1969 à 1972. 80 dispositifs ont été remesurés 5 ans et 75 après 10 ans. Un sommaire des dispositifs établis par province, par année d'établissement et par essence est décrit au tableau 1, et la localisation approximative de chacun est indiquée à la figure 1.

Selon l'entente mutuelle relative à ce programme, tous les travaux, y compris la sélection des peuplements, l'établissement des placettes, la fertilisation, le mesurage initial et les remesurages subséquents, devaient être assumés par les organismes provinciaux d'aménagement forestier ou les laboratoires régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Les méthodes de travail pour l'exécution des travaux ont été préparées par le comité technique créé en 1968. Les données ont été traitées à l'ICRPP sous la direction d'Emil Koller. Les dirigeants du comité technique de même que les fonds nécessités pour la préparation et l'impression des rapports provenaient du SCF. Toutes dépenses relatives à l'exécution des travaux ont été payées par les provinces à l'exception de la Nouvelle-Écosse et de la Saskatchewan. Dans ces deux provinces, l'expérimentation était effectuée par le SCF.

Région forestière Boréale

Région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent

Région forestière Acadienne

Revue d'autres études canadiennes

Dans la région de l'Atlantique, les études sur le terrain pour vérifier les effets de N, de P (phosphore) et de K (potassium) ont été réalisées dans des peuplements d'épinettes noires, de sapins baumiers et de pins gris, juste avant l'âge de la coupe (Hoyt, 1973; van Nostrand, 1979; Krause, 1981). Dans ces essais, c'est un dispositif factoriel simple qui a été utilisé, semblable à celui d'une plantation de sapins baumiers cultivée en vue de la production d'arbres de Noël (Timmer et collab., 1977). Ces études ont mis en évidence des réactions consistantes et positives à l'addition de N; les effets de P et de K n'y étaient généralement pas significatifs.

En Colombie-Britannique, 85 dispositifs sur la productivité des forêts ont été établis dans les forêts du littoral pour le douglas taxifolié et la pruche occidentale au début des années 70. L'urée a été appliquée à des taux de 225, de 450 et de 625 kg/ha de N combiné ou non à différents taux d'éclaircie. Aucun effet de l'indice de station n'a été observé sur la forte réaction du douglas taxifolié, mais la réaction de la pruche occidentale bien que plus faible était meilleure dans les stations pauvres et dans les plus jeunes peuplements après 6 ans. Les données de 9 ans sont disponibles pour les traitements d'urée à 224 et à 448 kg/ha de N combiné à l'éclaircie dans un peuplement de douglas taxifoliés âgé de 18 ans, situé à Shawnigan Lake en Colombie-Britannique (Barclay et collab., 1982).

L'une des plus vieilles expériences de fertilisation combinée à l'éclaircie du peuplement a été tentée sur l'épinette noire au Québec (Weetman, 1975). Cette étude montre une forte interaction positive entre l'addition de N et l'éclaircie. D'autres essais de fertilisation ont été tentés au Québec, sur le sapin baumier (Gagnon et collab., 1979; Brazeau, 1979) et le pin gris (Sheedy, 1977; Camire, 1980).

Dans le nord de l'Ontario, le Centre de foresterie des Grands Lacs a mis de l'avant le Programme de fertilisation du nord de l'Ontario qui comporte plus de 632 placettes permanentes établies dans les peuplements de pins gris et d'épinettes noires. En plus, quelque 226 placettes supplémentaires ont été établies dans le cadre d'une série de collaborations avec l'industrie; 92 autres sont sous la responsabilité directe de l'industrie. Des réactions cohérentes du pin gris à des apports de N ont été mises en évidence (Morrison et collab., 1976a, 1976b, 1976c, 1977a, 1977b et 1977c; Foster et Morrison, 1983a et 1983b).

Plusieurs études se sont orientées sur le devenir des engrais ajoutés. Mahendrappa et Ogden (1973) et Bernier et collab. (1972) ont tenté de quantifier les pertes de N par volatilisation après application d'urée. Les autres études concernant la transformation des engrais azotés dans le sol, particulièrement leur immobilisation et leur reminéralisation dans la couverture morte (Roberge et Knowles, 1966; Mahendrappa, 1978). Dans des études sur le pin gris dans le nord de l'Ontario, on a tenté de suivre le cycle minéral de N des engrais dans l'écosystème forestier (Foster et Morrison, 1976; Morrison et Foster, 1977). Les dernières thèses de doctorat de Brazeau (1979), Foster (1979) et Camire (1980) traitent surtout des transformations et de la distribution de N dans les écosystèmes fertilisés du sapin baumier et du pin gris.

Une expérience sur 10 ans a été tentée dans un peuplement de pins gris âgé de 40 ans afin d'étudier les effets entre les différents traitements de N répétés (expérience de nutrition optimale), les applications simples de différents types d'engrais azotés (expérience sur les sources de N) et les traitements de fertilisation du présent programme interprovincial avec les accroissements subséquents en surface terrière du peuplement.

Les différentes formes de N n'influencent pas la réaction mesurée après 10 ans; la plus forte réaction observée sur la croissance était attribuable au traitement de 56 kg/ha de N, répété 6 fois et associé au maintien d'une concentration de N foliaire de 1,40 % dans les aiguilles de l'année courante. Le dispositif du projet interprovincial n'a pas produit de réaction significative de la croissance supérieure aux placettes-témoins, même si les deux autres essais dans le peuplement ont démontré clairement une réaction à la fertilisation.

Groot et collab. (1983) ont observé une durée de l'effet sur 10 ans dans un peuplement de pins gris à la suite d'une application d'urée au taux de 336 kg/ha de N, avec aucun effet sur le coefficient de forme des arbres.

Timmer et Morrow (1984) ont rapporté qu'un peuplement de pins gris âgé de 28 ans réagit à l'application de N. Ils ont aussi démontré que les diagnostics graphiques des poids unitaires d'aiguilles, la concentration foliaire d'éléments et les changements du contenu en éléments par aiguille entre les traitements à la fin de la première saison de croissance fournissent non seulement un diagnostic sur l'état des éléments nutritifs du peuplement mais aussi qu'ils sont un excellent indice des réactions subséquentes de la croissance du peuplement. Des corrélations linéaires très fortes ont été observées entre le poids sec des aiguilles de la première saison et les réactions subséquentes de la croissance dans plusieurs études avec certaines espèces de conifères.

Cette approche avec les observations de la première année d'essais a été utilisée avec succès avec le pin tordu afin d'évaluer la réaction de plusieurs peuplements avec des dispositifs factoriels de fertilisation (Weetman et collab., 1985).

Les aspects économiques de la fertilisation des forêts de pins gris du nord-ouest de l'Ontario et du Québec ont été vérifié par Tucker (1974) et Nadeau (1977). Une vérification générale de la fertilisation des plantations a été préparée récemment par Ballard (1984). Foster et Morrison (1983a et 1983b) ont réalisé une revue des réactions pour la région du lac Supérieur et pour le Canada en général.

Fertilisation des forêts canadiennes à l'échelle opérationnelle

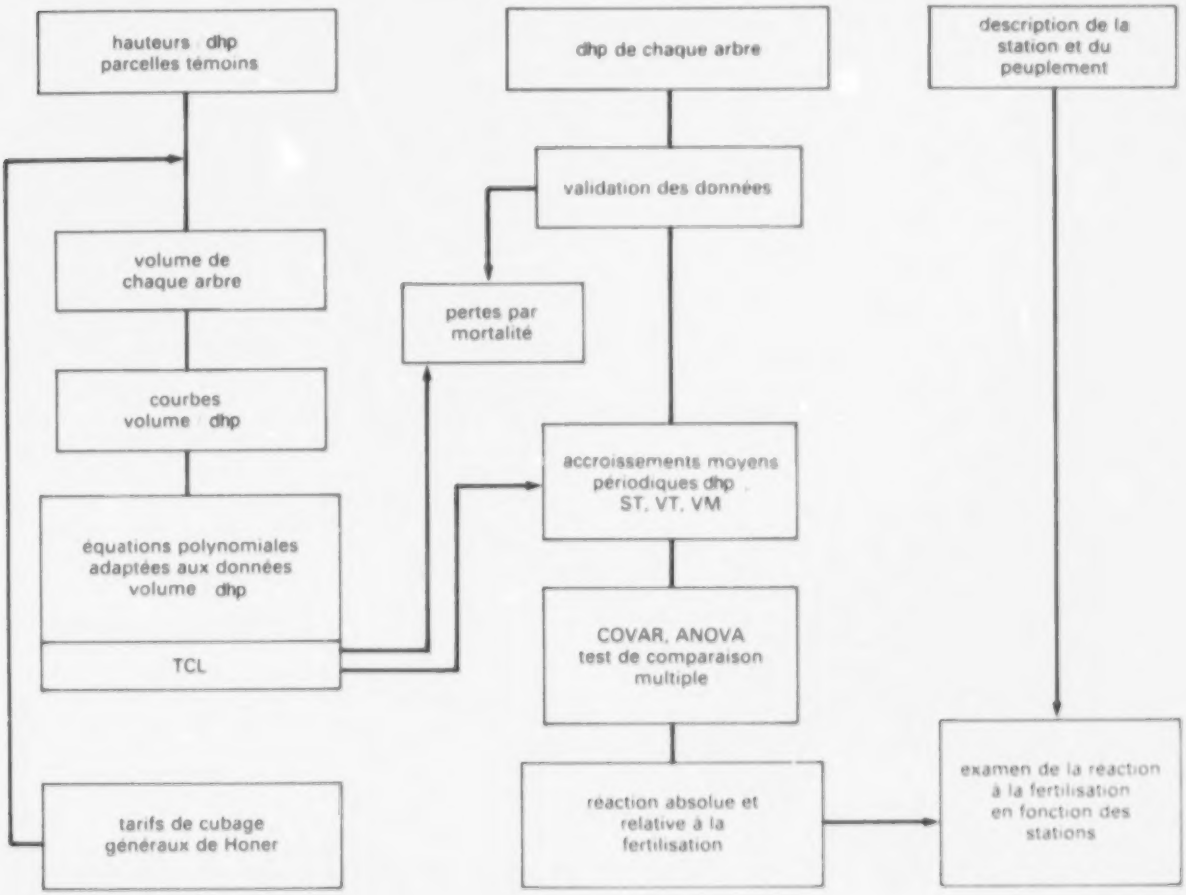
Des études récentes concernant la demande et les approvisionnements en bois, tant sur le plan régional que national, ont identifié des déficits actuels et futurs (Reed, 1979). Ces études ont aussi indiqué que les efforts actuels en aménagement forestier sont insuffisants pour soutenir les présents niveaux d'utilisation dans certaines régions. Les principales raisons en sont le manque d'équilibre dans la distribution des classes d'âge, les rendements déclinants des peuplements, souvent sous le seuil de la rentabilité, et la déaffectation des terres à vocation forestière au profit d'activités commerciales.

À l'encontre des autres techniques d'aménagement intensif des forêts, la fertilisation peut produire rapidement des accroissements en volume marchand. La fertilisation peut servir aux aménagistes forestiers comme moyen de combler les déficits des volumes de bois dans les peuplements de jeunes classes d'âge ou pour procurer des volumes additionnels dans des peuplements ayant presque atteint la maturité. En Scandinavie, les engrais ont été utilisés à grande échelle pour accroître les volumes de bois des peuplements d'âge moyen d'épinettes de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.) et de pins sylvestres (*Pinus sylvestris* L.). En Colombie-Britannique où des problèmes similaires de distribution des classes d'âge existent, des programmes de fertilisation opérationnelle sont en cours depuis plus de 10 ans. Entre 1978 et 1981, quelque 52 000 ha de forêt publique ont été fertilisés avec de l'urée en Colombie-Britannique. En plus, CIP Forest Products a traité plus de 15 000 ha. Entre 1986 et 1990, 80 000 ha additionnels sont prévus à un coût de fertilisation de 19 millions de dollars défrayés conjointement par la province et le gouvernement fédéral; pour la première fois les forêts de l'intérieur seront traitées. Aux États-Unis, dans les régions du Nord-Ouest, des projets de plus grande envergure sont en cours depuis plusieurs années: plus de 1 million d'hectares ont été traités jusqu'à présent, presque tous dans les forêts du littoral de douglas taxifoliés. Les peuplements sélectionnés pour être traités ont habituellement une densité initiale faible ou bien ils ont été aménagés et ils sont cultivés principalement en vue de la production de bois de sciage. Les coûts récents d'application (1985) sont estimés à environ 225 $/ha pour un taux d'appication de 225 kg/ha de N épandus par hélicoptère, c'est-à-dire environ 1 $/kg de N appliqué.

Actuellement, il n'existe aucun programme de fertilisation opérationnelle des forêts dans les régions du centre et de l'est du Canada. Les raisons les plus probables sont que ces peuplements n'ont que peu ou pas de valeur au point de vue du sciage, qu'ils sont propriétés de la Couronne avec de faibles droits de coupe par rapport aux valeurs des bois sur pied du marché et qui, n'étant pas aménagés avec de fortes densités, sont sujets à une mortalité continuelle. D'autres contraintes sont l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) et, pour le détenteur de permis de coupe, des conditions non satisfaisantes pour faire face aux coûts de la sylviculture.

Des essais opérationnels d'application aérienne d'engrais azotés ont été réalisés dans le nord de l'Ontario (Armson, 1972) et au Québec sur le sapin baumier (Roberge et Gagnon, 1974) et le pin gris (Veilleux et Sheedy, 1977). D'autres essais opérationnels pour lesquels on possède moins d'informations ont été réalisés par l'industrie au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse. Les données disponibles découlant d'expériences sur le pin tordu en Alberta font ressortir que la fertilisation de 1 660 ha de peuplements âgés de 70 ans, à Hinton, aux taux de 300 N, de 150 P et de 90 S (soufre) kg/ha aurait produit 36 000 m^3 additionnels de bois (Weetman et coll., 1985).

Méthodes expérimentales



Lors de l'élaboration du dispositif expérimental, on a supposé que dans la plupart des cas N était un facteur limitatif majeur de la croissance, que P et K étaient présents en concentration suffisante pour assurer une croissance sous-optimale des arbres déficients en N, et que des interactions positives pourraient s'ensuivre entre N et P et entre N et K dans certaines conditions écologiques et forestières.

En conséquence, les 6 traitements suivants ont été mis à l'essai:

1.	T	— Témoin
2.	N	— Azote au taux de 112 kg/ha
3.	2N	— Azote au taux de 224 kg/ha
4.	2N + P	— Azote au taux de 224 kg/ha
		— Phosphore au taux de 112 kg/ha
5.	2N + K	— Azote au taux de 224 kg/ha
		— Potassium au taux de 112 kg/ha
6.	2N + PK	— Azote au taux de 224 kg/ha
		— Phosphore au taux de 112 kg/ha
		— Potassium au taux de 112 kg/ha

Les types d'engrais suivants ont été utilisés:

N = urée granulaire standard, 44 % N

P = superphosphate triple, 45 % P_2O_5

K = chlorure de potasse, 61 % K_2O

Les traitements ont été répétés une fois et répartis au hasard à chaque répétition. La superficie des placettes fertilisées varie de 0,02 à 0,09 ha, selon la densité des peuplements. Les arbres qui ont été mesurés sont localisés dans la placette centrale dont la dimension varie de 0,01 à 0,04 ha. Tous les arbres vivants ayant un dhb[1] de 6,35 cm et plus ont été numérotés. Les diamètres et les essences ont été enregistrés au moment de l'établissement du dispositif expérimental.

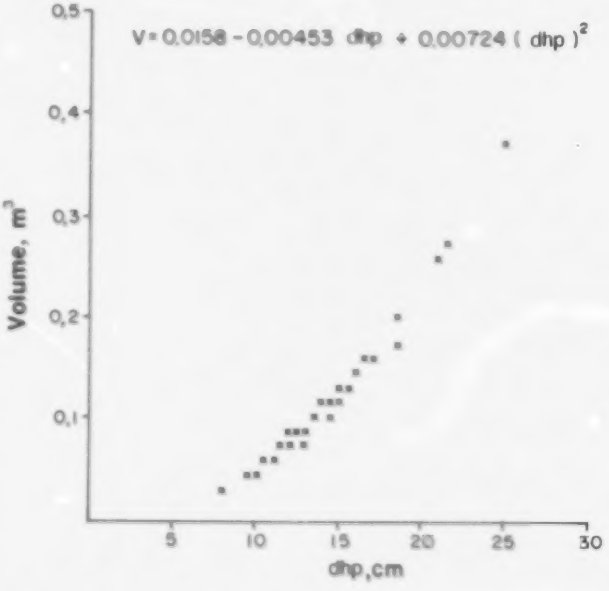
Les diamètres des arbres, tant dans les placettes fertilisées que dans les témoins de tous les dispositifs, ont été remesurés à la fin des 5e et 10e saisons de croissance consécutive aux traitements; la mortalité a aussi été notée. Les hauteurs de 15 arbres par placette ont été mesurées au Québec. Dans les autres provinces, les hauteurs de 50 arbres dans la superficie non traitée ont été mesurées sur toute une gamme de diamètres.

Les principales étapes suivies dans les calculs des effets de la fertilisation sont illustrées à la figure 2.

Les volumes total et marchand des arbres ont été calculés à partir des mesures de hauteur et de dhp et à l'aide des tarifs de cubage généraux de Honer (1967). Des courbes de volume en fonction du diamètre ont été tracées et des équations quadratiques polynomiales ont été adaptées aux données de chacun des dispositifs. Un terme cubique y a été ajouté lorsqu'il augmentait de façon significative l'ajustement de la régression.

Pour les dispositifs mis en place dans les peuplements mélangés, on a tenté d'établir des relations volume-diamètre différentes pour chaque essence, mais le nombre d'observations était généralement trop faible pour établir des relations valables pour les espèces secondaires. L'examen des courbes de volume en fonction du diamètre n'indiquait pas de différence évidente entre les espèces. L'utilisation d'une seule équation pour l'ensemble des données des diamètres et des volumes d'un même dispositif semblait alors justifiée. Cependant, des relations volume-diamètre différentes ont été établies dans quelques dispositifs pour le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.), essence secondaire dans plusieurs dispositifs du Québec.

Les équations polynomiales qui ont été préparées séparément pour chaque dispositif donnent le volume total ou marchand en fonction du dhp et forment les tarifs de cubage locaux (TCL) auxquels on se réfère dans ce texte. La figure 3 montre un exemple. Dans le calcul du volume marchand, le dhp minimal est de 9 cm tandis que le diamètre minimal d'utilisation est de 7,6 cm. Les modifications produites par la fertilisation dans la forme des arbres n'ont pas été prises en considération. Les TCL ont été recalculés pour les remesurages de 10 ans, et ils ne différaient pas du TCL de 5 ans.



[1]Mesuré à 1,37 m (4,5 pieds) au-dessus du sol.

Les TCL ont été utilisés pour calculer les volumes des placettes au moment du traitement et 5 et 10 ans après le traitement. Malheureusement, les hauteurs des arbres n'ont pas été mesurées au moment du traitement dans la plupart des placettes. On a compris que l'utilisation d'un seul TCL tendrait à surestimer la réaction à la fertilisation (Evert, 1979) et que les relations diamètre-volume sont sujettes à changer avec l'âge du peuplement. Cependant, les hauteurs des arbres ont été mesurées avant et 5 ans après le traitement dans les dispositifs du Québec, ce qui a permis la préparation de 2 TCL. Quand le volume et les réactions à la fertilisation ont été compilés en utilisant 2 TCL différents, les résultats obtenus ne différaient pas significativement de ceux obtenus avec un seul TCL. Apparemment, les mesures et les méthodes de détermination du volume utilisées dans la recherche sur la fertilisation ne sont pas assez sensibles pour détecter l'effet de l'âge du peuplement sur les relations diamètre-hauteur et volume-diamètre.

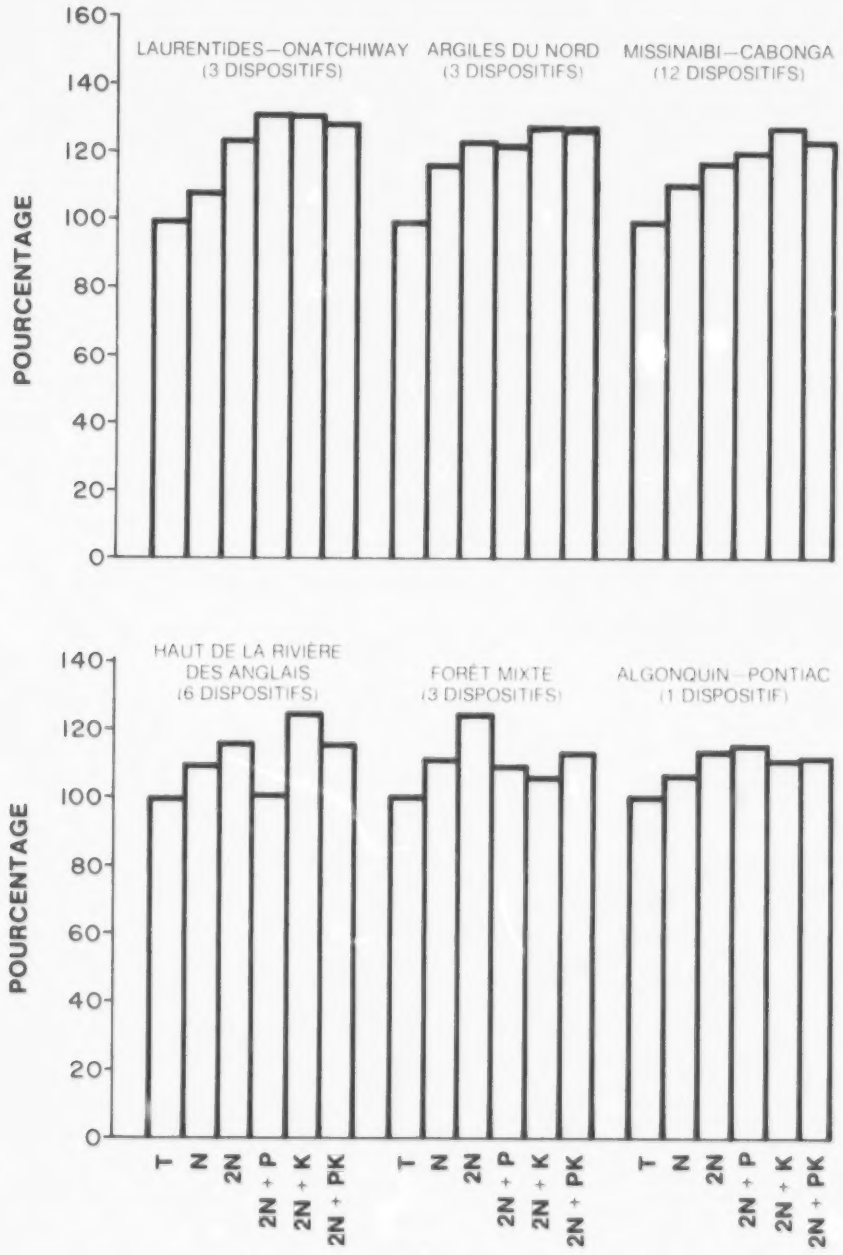
Les diamètres des arbres, enregistrés sur cartes parforées, ont d'abord été soumis à une procédure de validation afin d'éliminer les observations erratiques. Les cartes présentant des possiblilités d'erreurs ont été retournées aux responsables pour vérification. Aucun arbre vivant n'était normalement exclus des calculs. Il y avait des arbres de grandes dimensions, rarement plus de 1 dans quelques placettes. Ces arbres ont été rejetés lorsque leur dhp dépassait largement les limites du tarif de cubage local.

Le volume des arbres morts et la mortalité moyenne du peuplement ont d'abord été déterminés pour chaque traitement. Les moyennes initiales et finales du dhp, de la surface terrière (ST), du volume total (VT) et du volume marchand (VM) ainsi que les accroissements quinquennaux correspondants ont ensuite été compilés pour chaque peuplement en ne tenant compte que des arbres vivants à la fin des périodes de 5 ans et de 10 ans. Les valeurs obtenues ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) et d'une analyse de covariance (COVAR). Le VT initial a servi de covariable pour les accroissements en volume. Les valeurs des traitements, ajustées par covariance, sont utilisées lorsque la pente de la régression est significative au seuil de probabilité de 10 % ($P = 0,1$). Dans les autres cas, les valeurs indiquées sont telles qu'observées.

Les résultats ont par la suite été soumis au test de Scheffe (1959) afin de déterminer quels traitements d'un dispositif ou d'un groupe de dispositifs diffèrent significativement l'un de l'autre. L'utilisation de cette méthode de comparaisons multiples est recommandée pour les données ajustées par COVAR (Hamilton, 1965). Le test de Scheffe est reconnu pour être conservateur. Des exemples de valeurs de F significatives dans certains dispositifs sont survenus alors que le test de Scheffe indiquait que les moyennes entre les traitements ne sont pas significatives. Les résultats d'analyses des dispositifs combinés sont indiqués dans les tableaux 3 à 12, comme moyennes.

Toutes les données sur les diamètres aux âges 0, 5 et 10 ainsi que celles de hauteurs lorsque mesurées, pour toutes les placettes de chaque dispositif (81 dispositifs de 12 placettes) ont été enregistrées sur ruban magnétique de 9 pistes avec 800 caractères au pouce. Ces rubans sont conservés à l'Institut canadien de recherche sur les pâtes et papiers et à la Faculté de foresterie de l'Université de la Colombie-Britannique. Les programmes utilisés pour le traitement des données sont aussi enregistrés sur ruban.

Résultats


POURCENTAGE
160
140
120
100
80
60
40
20
0
LAURENTIDES—ONATCHIWAY
(3 DISPOSITIFS)
ARGILES DU NORD
(3 DISPOSITIFS)
MISSINAIBI—CABONGA
(12 DISPOSITIFS)
POURCENTAGE
140
120
100
80
60
40
20
0
HAUT DE LA RIVIÈRE
DES ANGLAIS
(6 DISPOSITIFS)
FORÊT MIXTE
(3 DISPOSITIFS)
ALGONQUIN—PONTIAC
(1 DISPOSITIF)
T
N
2N
2N + P
2N + K
2N + PK

Accroissement décennal et réaction à la fertilisation

Les effets des traitements sont estimés en fonction de l'accroissement décennal (AD) en VT du peuplement. Les accroissements correspondants en ST et VM sont présentés ensemble, avec le mesurage initial des peuplements, dans l'annexe II.

La productivité des peuplements naturels témoins (sans traitement de fertilisation) et leurs réactions aux traitements varient en fonction des essences et de leur milieu de croissance.

Pin gris

Cette essence est représentée par 29 dispositifs couvrant une partie du Québec, de l'Ontario, du Manitoba et de la Saskatchewan (tableau 2). La plupart de ces dispositifs (27) sont situés dans la région forestière Boréale. Deux autres se retrouvent dans la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Les résultats pour ces dispositifs sont présentés selon les sections forestières définies par Rowe (1972). Là où il y a plus d'un dispositif dans une section, les données ont été réanalysées en employant une classification hiérarchique des échantillons (dispositifs) et des sous-échantillons (placettes dans un dispositif) (Snedecor et Cochran, 1967).

Section forestière L.4b — Algonquin-Pontiac

Le seul dispositif (Québec 23) situé près de la bordure nord de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent implique un peuplement d'indice de station (Plonski, 1974).

L'accroissement quinquennal dans les placettes témoins se situe à 26,6 m^3/ha tandis que celui de 10 ans est de 85,3 m^3/ha. Toutes les applications de 2N combinées ou non résultent en une augmentation significative de la croissance. Des gains en VT de 9,4 à 12,7 m^3/ha (tableau 3) et un accroissement relatif de l'AD de 12 à 14 % (figure 4) ont été réalisés. Les traitements favorables ne diffèrent pas significativement entre eux (annexe III).

Section forestière L.7 — Saguenay

L'unique dispositif (Québec 33) de cette section est caractérisé par un faible taux d'accroissement courant dans les placettes témoins (tableau 3).

Les données du remesurage décennal démontrent une réaction modérée à l'application de N et de K. Cependant, les différences d'accroissement entre les placettes témoins et celles qui sont fertilisées ne sont pas statistiquement significatives.

Section forestière B.1a — Laurentides-Onatchiway

3 peuplements ont été sélectionnés dans cette section de l'est de la forêt boréale, tous situés sur des dépots fluvio-glaciaires à drainage rapide (annexe I). Les peuplements sont d'âge moyen et leur indice de station représente les classes II et III (Plonski, 1974). Dans un peuplement la densité était trop forte, et dans un autre elle était trop faible. Les variations du volume et de la productivité sont exprimées dans les volumes initiaux des trois dispositifs (tableau 3).

L'AD des 3 peuplements varient de 29,5 à 59,9 m^3/ha dans les placettes non traitées (tableau 3). L'AD moyen a été accru de façon significative par rapport au témoin avec les traitements 2N + P, 2N + K, et 2N + PK. Ces traitements ont produit un gain en VT d'environ 10 m^3/ha et un accroissement relatif correspondant à approximativement 34 % (figure 4).

Un seul des 3 dispositifs (Québec 38) montre des effets significatifs des traitements lorsqu'on l'analyse individuellement (annexe III). Bien qu'il n'y ait aucun effet significatif des traitements dans les deux autres dispositifs, les résultats laissent voir des améliorations substantielles de la croissance, avec un gain d'AD de 38 % dans le peuplement de classe III le moins productif (Québec 39), mais de seulement 22 dans le peuplement de classe II (Québec 31) avec le traitement 2N + PK.

Section forestière B.4 — Argiles du Nord

3 des dispositifs établis dans le pin gris au Québec sont situés dans cette section. Ces peuplements comparables au point de vue de leur âge diffèrent vraiment quant à leur productivité qui se situe parmi les classes de fertilité I, II et III (Plonski, 1974). Les sols sont d'origine fluvio-glaciaire et varient aux points de vue texture et drainage (annexe I).

L'AD de ces peuplements de pins gris varie autour de 48 m^3/ha lorsque aucun engrais n'est appliqué. La croissance moyenne a été accrue de façon significative par tous les traitements, ce qui comprend l'application de N à la dose maximale. Les gains en volume total varient entre 8,0 et 13,3 m^3/ha et correspondent à un accroissement décennal relatif de 16 à 27 % (figure 4). La comparaison entre le traitement à N seul et les traitements combinés indique que les engrais phosphorés et potassiques n'ont qu'un effet faible ou nul sur la croissance moyenne de ces peuplements.

Les résultats des analyses statistiques de chaque dispositif sont indiqués dans l'annexe III.

Section forestière B.7 — Missinaibi-Cabonga

Le pin gris est représenté par 12 dispositifs dans cette section, laquelle se situe en bordure sud de la forêt boréale du Québec et de l'Ontario. Plusieurs de ces peuplements montrent une croissance exceptionnellement bonne avant traitement. Tous, à l'exception d'un seul, se rangent dans les classes de fertilité I ou II (Plonski, 1974). La plupart croissent sur des sols sablonneux de textures grossière à fine, d'origine fluvio-glaciaire (annexe I). Comme dans le précédent groupe de dispositifs du pin gris, le VT initial et l'AD des peuplements non traités étaient variables à cause des grandes différences d'âges et de volumes. L'AD moyen des placettes témoins se situe parmi les plus élevés de l'ensemble des peuplements de pins gris qu'on retrouve dans le programme.

Le groupe de peuplements de la section Missinaibi-Cabonga montre, en moyenne, des réactions fortes et statistiquement significatives aux traitements de N à la dose maximale (tableau 4). La croissance moyenne par rapport au témoin a été accrue de 11,1 m^3/ha ou 17 % (figure 4) avec le traitement 2N jusqu'à un maximum de 18,3 m^3/ha ou 28 % avec 2N + K. Cependant, la différence de croissance moyenne entre 2N et 2N + K des peuplements traités n'est pas significative au point de vue statistique.

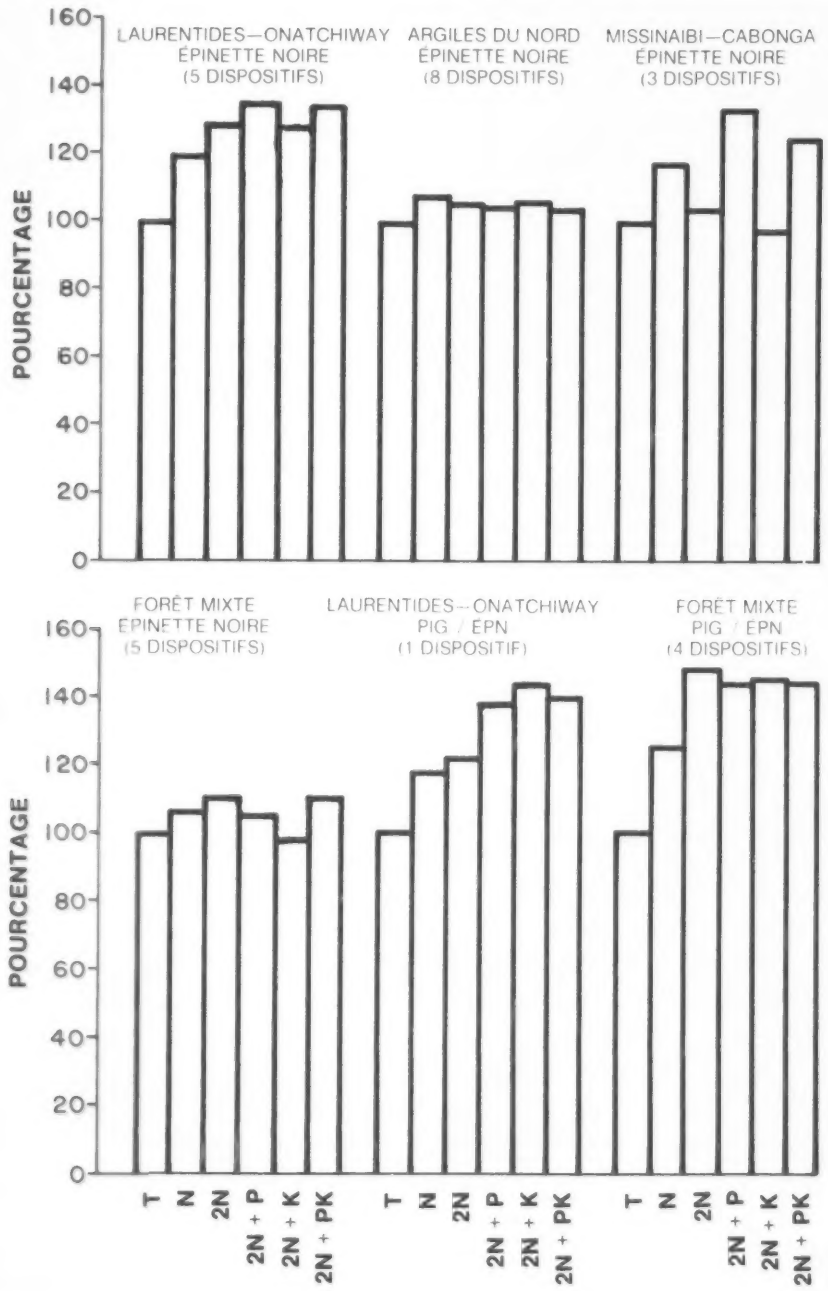


Figure 5. Réactions relatives à la fertilisation pour les peuplements mélangés d'épinette noire et de pin gris dans quelques sections forestières.

L'analyse des données colligées dans chacun des dispositifs montre des effets statistiquement significatifs des traitements dans 6 des 12 peuplements (annexe III).

Section forestière B.11 — Haut de la rivière des Anglais

Les 6 peuplements de pins gris de ce groupe du nord-ouest de l'Ontario variaient au point de vue âge de 33 à 56 ans et se rangeaient tous dans la classe de fertilité II (Plonski, 1974), sauf un (tableau 2). Tous croissaient sur des sols à drainage rapide ou bon, caractérisés par des sables fins et loameux d'origine fluvio-glaciaire (annexe I).

La moyenne du groupe pour les traitements indique que la croissance a été améliorée de façon significative avec les additions de 2N + K (tableau 5). L'AD s'est accru de 16,2 m^3/ha ou 25 %. Le meilleur accroissement moyen a été obtenu dans les placettes traitées avec 2N + K (figure 4), mais la différence attribuable au K n'était pas significactive au point de vue statistique.

Seulement 3 des 6 peuplements ont montré des effets significatifs des traitements lorsqu'ils étaient analysés sur le plan individuel (annexe III).

Section forestière B.18a — Forêt mixte

3 peuplements aussi âgés de pins gris, avec de faibles indices de station (tableau 2) supportés par des sols bien à modérément bien drainés provenant de tills remaniés, ont été sélectionnés pour l'expérimentation dans cette section. Ils étaient caractérisés par des volumes initiaux comparativement élevés et une productivité courante variable (tableau 5).

Les peuplements de pins gris de cette section peuvent avoir bénéficié des traitements azotés (tableau 5). Cependant, les analyses de chaque peuplement et de l'ensemble n'ont pas indiqué d'effets significatifs des traitements au point de vue statistique.

Sommaire

La croissance du pin gris a été améliorée de façon significative par les traitements de fertilisation dans la plupart des sections forestières. L'application de N seul, à raison de 224 kg/ha, s'est soldée par un gain moyen en VT de 11,5 m^3/ha (Argiles du Nord), 11,1 m^3/ha (Missinaibi-Cabonga) et 10,5 m^3/ha (Haut de la rivière des Anglais), ce qui correspondait à des accroissements relatifs de 23, 17 et 16 % respectivement. Dans 2 autres sections (Algonquin-Pontiac et Laurentides-Onatchiway), des augmentations significatives de croissance ont été obtenues seulement lorsque les engrais azotés étaient combinés à des engrais phosphorés, avec ou sans K. Les moyennes des traitements dans les sections aussi bien que les données individuelles par dispositif ont fréquemment montré de plus grandes réactions aux traitements combinés. Cependant, les comparaisons multiples entre les moyennes des traitements n'ont pas indiqué de différences significatives entre les traitements 2N et 2N + P, 2N + K ou 2N + PK.

Chacun des 28 dispositifs à montré des augmentations de croissance supérieures à celle du témoin pour quelques-uns ou pour tous les traitements de fertilisation; toutefois, seuls 11 peuplements ont accusé des effets significatifs des traitements, ce qui laisse supposer qu'un manque de précision expérimentale aurait empêché de distinguer clairement entre les effets des traitements et les variations causées par des facteurs incontrôlables dans de nombreux dispositifs.

Les accroissements de 10 ans en m^3/ha ont été plus élevés que ceux de 5 ans mais l'accroissement relatif par rapport au témoin a été plus faible. La plupart des réactions aux engrais surviennent dans les 5 premières années qui suivent le traitement.

Épinette noire

21 aires d'expérimentation ont été mises à l'essai dans des peuplements purs ou à peu près purs d'épinettes noires dans la région forestière Boréale couvrant le nord du Québec, de l'Ontario, du Manitoba et de la Saskatchewan (tableau 6). Les sections forestières suivantes étaient représentées: Laurentide-Onatchiway, Argiles du Nord, Missinaibi-Cabonga et Forêt mixte.

Section forestière B.1a — Laurentides-Onatchiway

Les 5 peuplements d'épinettes noires de cette section étaient âgés de 47 à 80 ans et se rangeaient dans les classes de fertilité Ia, I et II (Plonski, 1974). Ces peuplements croissaient sur des sols bien, modérément bien ou imparfaitement drainés dérivés de tills ou dépôts fluvio-glaciaires (annexe I).

Les peuplements d'épinettes noires affichaient, en moyenne, un VT initial un peu plus élevé que les peuplements de pins gris pour la même section forestière (tableaux 3 et 7), mais leur accroissement décennal était plus faible. Les traitements de fertilisation ont amélioré la croissance de façon significative, le meilleur gain en VT était de 11,2 m^3/ha ou 34 % avec le traitement 2N + P (figure 5).

Section forestière B.4 — Argiles du Nord

Quoique situés dans la même section forestière, les 8 dispositifs représentaient un groupe très hétérogène d'écosystèmes de l'épinette noire. Les sols provenaient de dépôts fluvio-glaciaires, lacustres, organiques et de moraine de fond. Le drainage variait de passablement bon à pauvre (annexe I). Les peuplements correspondaient aux classes de fertilité I et Ia de Plonski (1974). Avec des âges variant de 51 à 75 ans et de grandes différences au point de vue densité, le VT initial de chaque peuplement variait passablement, jusqu'à une proportion de un à cinq dans un cas (tableau 7). Dans ce groupe de dispositifs, aucune réaction n'est clairement ressortie (figure 5).

Section forestière B.7 — Missinaibi-Cabonga

Les trois peuplements d'épinettes noires de cette section croissaient sur des sols d'origine fluvio-glaciaire de bien à passablement bien drainés. Les peuplements avaient le même âge (41 à 45 ans) et se rangeaient dans les classes de fertilité I et Ia (Plonski, 1974) (annexe I). Leur VT initial variait passablement (tableau 8).

La croissance moyenne du groupe Missinaibi-Cabonga a été améliorée de façon significative par l'application de N au taux 2N avec la combinaison d'engrais phosphoré (tableau 8). L'application de N à la dose maximale sans P a paru inefficace.

Le meilleur réaction, avec 13,4 m^3/ha, a été obtenue avec le traitement 2N + P et correspondait à un gain relatif en AD de 35 % (figure 5).

Section forestière B.18a — Forêt mixte

5 peuplements d'épinettes noires, 4 au Manitoba et 1 en Saskatchewan, ont été traités; ce dernier dispositif a été perdu après la cinquième année. Ils couvraient une grande variété d'âges et de conditions de station (tableau 6 et annexe I). 3 de ces peuplements croissaient sur des sols modérément bien ou imparfaitement drainés provenant de dépôts morainiques ou lacustres, le quatrième étant installé sur un sol organique mal drainé. Tous les peuplements avaient une productivité comparable (indices de fertilité I et Ia [Plonski, 1974]) démontrant l'accroissement décennal le plus élevé de tous les groupes mesurés.

3 des peuplements installés sur sols minéraux ont réagi à la plupart des traitements pendant qu'aucune réaction n'a été observée dans les peuplements croissants sur sols organiques. Le meilleur accroissement moyen fut obtenu avec le traitement 2N qui montre un AD de 5,4 m^3/ha ou 10 % (figure 5).

Sommaire

L'épinette noire n'a pas réagi aux traitements de fertilisation aussi bien que le pin gris. Seulement 3 des 21 dispositifs (Québec 35, 36 et 37) et l'ensemble de 2 des 4 sections forestières (Laurentides-Onatchiway et Missinaibi-Cabonga) ont accusé des augmentations significatives de croissance dues aux traitements de fertilisation par rapport au témoin. Dans ces 2 sections forestières, les gains moyens en VT ont été de 6,3 et 7,0 m^3/ha pour les additions de N à la dose minimale et de 9,1 et 11,1 m^3/ha à la dose maximale de N. Les meilleures réactions ont été obtenues avec le traitement 2N + P, mais les différences entre N ou 2N et 2N + P ne sont pas significatives au point de vue statistique.

Pin gris-épinette noire

Ce groupe de dispositifs comprend des peuplements dans lesquels l'essence principale constitue moins de 90 % et les essences secondaires plus de 10 % du VT initial. 7 dispositifs ont été établis dans des peuplements mélangés de pins gris et d'épinettes noires couvrant les sections forestières Laurentide-Onatchiway, Argiles du Nord, Missinaibi-Cabonga et Forêt mixte (tableau 6). Ces peuplements étaient situés sur des sols dérivés de dépôts fluvio-glaciaires, morainiques ou lacustres de drainage rapide à pauvre (annexe I). Les peuplements des sections forestières Argiles du Nord et Missinaibi-Cabonga étaient caractérisés par une productivité très élevée d'après les indices de station (tableau 6) et l'AD (tableau 9); le peuplement situé le plus à l'est, section Laurentides-Onatchiway, et ceux de la section Forêt mixte avaient une productivité moyenne.

Le remesurage dans les dispositifs des sections forestières Argiles du Nord, Missinaibi-Cabonga et Laurentides-Onatchiwaya toujours montré des AD plus élevés dans les placettes fertilisées que dans les placettes témoins (tableau 9), mais les analyses statistiques n'ont pu faire ressortir d'effets significatifs des traitements (annexe III).

Les peuplements de la section Forêt mixte ont réagi à la suite de l'application des 2 doses d'azote. La meilleure réaction qui a atteint 20,2 m^3/ha pour un gain relatif en AD de 49 % (figure 5) a été obtenue avec le traitement 2N. Les traitements P et PK n'ont pas causé de réaction additionnelle.

Lorsque l'analyse des résultats fut individualisée, seulement 2 des peuplements de ce groupe ont montré un effet significatif des traitements (annexe III).

Dans les peuplements mélangés où les traitements ont eu un effet significatif, la comparaison des accroissements relatifs en volume total pour chaque essence a révélé que le pin gris avait réagi aux engrais avec plus de vigueur que l'épinette noire au cours des 5 premières années. Cette tendance n'était plus apparente après 10 ans (tableau 10).

Épinette blanche

Les peuplements d'épinettes blanches sélectionnés pour les essais de fertilisation étaient situés en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick et en Alberta (tableau 10).

Le seul dispositif de la section forestière Cap-Breton-Antigonish en Nouvelle-Écosse était localisé sur un sable loameux d'origine fluvio-glaciaire (annexe I). Ce peuplement s'était établi naturellement dans un champ abandonné et se caractérisait par une productivité exceptionnellement élevée. Au cours des 10 premières années de l'expérience, sa vitesse de croissance annuelle a été de 6,2 m^3/ha (VT) sans traitement. Ce peuplement n'as pas réagi aux additions d'engrais (tableau 11).

Les 2 peuplements de la section Côte de Fundy au Nouveau-Brunswick ont subi une forte défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette; après 10 ans, aucune réaction n'est décelable.

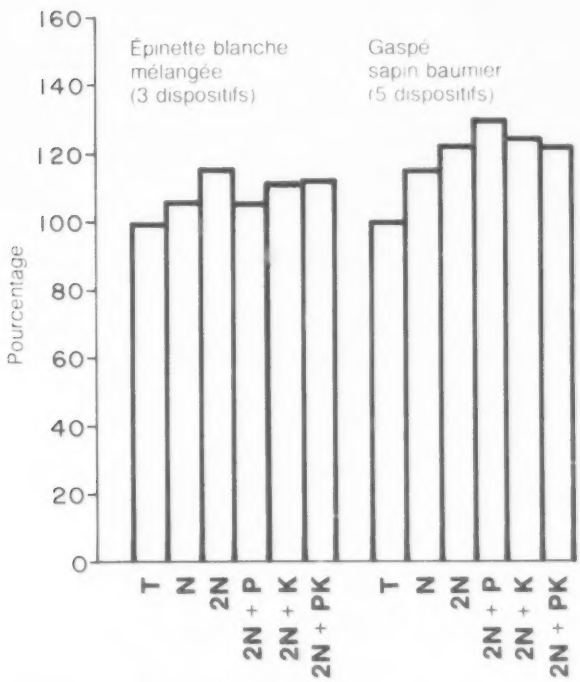
Dans la section Forêt mixte de l'Alberta, les placettes ont été installées dans 3 peuplements d'âges divers, sur des sols dérivés de matériaux nettement différents (tableau 10 et annexe I). La productivité était très élevée dans les 3 peuplements (approximativement 75 m^3/ha en 10 ans).

Ces peuplements d'épinettes blanches ont bien réagi à l'addition de N. À la dose maximale, l'accroissement de l'AD moyen a été d'environ 12 m ^{3}/ha (tableau 11), soit 16 % (figure 6). L'addition de N à la dose minimale ainsi que les combinaisons de N et de P avec ou sans K n'ont pas amélioré la croissance de façon significative par rapport au témoin.

Épinette rouge

Les essais sur l'épinette rouge ont été tentés dans les sections forestières des Basses terres centrales, de la Côte de Fundy et des Hautes terres atlantiques en Nouvelle-Écosse (tableau 10), dans des peuplements établis sur des sols bien drainés, issus de moraine de fond ou de moraine d'ablation (annexe I).

Le peuplement d'épinettes rouges de la section des Basses terres centrales était caractérisé par une forte densité et une productivité moyennement élevée sans addition d'engrais (tableau 11). Presque tous les traitements ont produit une vitesse d'accroissement plus élevée que celle du témoin (tableau 11), mais les différences ne sont pas significatives. Ce peuplement a été affecté par un taux de mortalité élevé au cours de la période quinquennale (annexe IV). Les pertes élevées en volume peuvent avoir diminué la précision expérimentale de cet essai.



Le dispositif d'épinettes rouges de la Côte du Fundy a été établi dans le plus jeune des 3 peuplements et montre le plus faible AD (tableau 11). Ce peuplement avait également une forte densité et accusait une mortalité considérable dans quelques placettes. Une réaction positive a été décelée pour tous les traitements de fertilisation; toutefois, la croissance n'a été augmentée de façon significative par rapport au témoin qu'avec les traitements 2N et 2N + PK.

Le peuplement d'épinettes rouges de la section des Hautes terres atlantiques montrait une productivité modérée sans fertilisation. La croissance semble avoir été améliorée par rapport au témoin à la suite du traitement 2N + PK (tableau 11), mais cet effet n'était pas significatif au point de vue statistique.

Sapin baumier

Les essais de fertilisation du sapin baumier ont été établis par les provinces de la Nouvelle-Écosse et du Québec. 5 des 14 peuplements ne contenaient que du sapin. Les autres renfermaient des proportions variables d'épinette noire, d'épinette blanche et de bouleau à papier. La plupart des peuplements croissaient sur des sols bien ou passablement bien drainés, formés sur du till (annexe I). Ces peuplements, dont l'âge variait de 45 à 62 ans, se situaient dans les classes de fertilité I et II (Vézina et Linteau, 1968) (tableau 10).

Section forestière A.6 — Plateau du Cap-Breton

Ce peuplement a été perdu à cause de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Cap-Breton.

Section forestière B.2 — Gaspésie

1 des 6 peuplements a été éliminé à cause de l'épidémie de tordeuses.

Les autres peuplements de sapins baumiers avec une productivité moyennement élevée montraient des augmentations substantielles de croissance pour tous les traitements, incluant N appliqué au taux élevé (tableau 12). L'application 2N a produit un extra de 9,9 m ^{3}/ha sur la croissance décennale ou un gain de 21 % (figure 6). La réaction maximale du groupe avec le traitement 2N + P a été 14,2 m^3/ha ou 30 % d'accroissement périodique. Le dispositif Québec 5 a montré le meilleur gain en volume avec 29,3 m^3/ha à la suite du traitement 2N + P.

Section forestière L.6 — Témiscouata-Restigouche

Le seul peuplement de cette section a montré une productivité similaire à celle du groupe précédent, mais sans aucune réaction apparente à la fertilisation.

Section forestière B.1a — Laurentides-Onatchiway

Les trois peuplements de la section forestière Laurentides-Onatchiway n'ont pas été analysés parce qu'ils ont été détruits par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (tableau 10).

Sections forestières B.4 — Argiles du Nord, B.7 — Missinaibi-Cabonga et L.9 — Timagami

Les 3 peuplements de sapins baumiers du Nord-Ouest québécois ont montré une productivité généralement inférieure à celle des peuplements de l'Est. Une amélioration de la croissance a été obtenue, selon les dispositifs, avec quelques-uns ou avec tous les traitements (tableau 12), mais les différences entre les placettes témoins et traitées n'ont pas été significatives statistiquement. La période de réaction décennale a coïncidé avec une grave infestation de la tordeuse dans l'ouest du Québec, ce qui a généralement provoqué une diminution de la productivité et pourrait introduire une variation excessive entre les traitements.

Traitements de fertilisation et mortalité des arbres

Les pertes dues à la mortalité pour les espèces sont présentées au tableau 13. Pour les placettes témoins les valeurs varient de 11 à 55 m^3/ha en comparaison d'un accroissement net de 16 à 97 m^3/ha. Les dispositifs ont été établis dans des peuplements à fort volume, plusieurs possédaient une densité et un volume plus grands que la normale tels que définis par les tables de rendement (Plonski, 1974; Vézina et Linteau, 1968). Comme résultat, une mortalité naturelle est survenue dans toutes les placettes. Les pertes en volume varient largement en fonction des types de couverts et des dispositifs (annexe IV). Les pertes pour les dispositifs varient entre 1,5 et 105 m^3/ha selon les dispositifs.

Quelques observations sur la mortalité rapportées après 5 ans sont toujours évidentes: 1) Que les pertes dues à la mortalité après 10 ans représentent une très forte proportion de l'accroissement des placettes témoins; 2) Que les pertes dues à la mortalité sont aussi grandes, sinon plus que les gains dus à la fertilisation dans certains dispositifs; 3) Qu'il y a une évidence d'une mortalité plus élevée due aux traitements mais que les différences ne sont pas significatives (tableau 13).

La figure 7 présente les accroissements brut et net en volume pour chaque espèce au cours de la période de 10 ans. Les gains net d'accroissement pour la période sont toujours positifs pour les dispositifs de pins gris, de pins gris avec épinettes noires et d'épinettes blanches. Les pertes dues à la mortalité durant la période sont si élevées pour les dispositifs d'épinettes noires, d'épinettes rouges et de sapins baumiers qu'il n'y a que peu ou pas d'accroissement net.

Au point de vue commercial, seuls les dispositifs de pins gris montrent un gain net moyen intéressant dû aux traitements de fertilisation (5-12 m^3/ha); pour les autres espèces, les gains nets dus aux engrais, même s'ils sont présents, sont complètement masqués par des pertes plus grandes de la mortalité des arbres. L'image de l'accroissement net pour la période de 10 ans est pire que celle de la période quinquennale pour l'épinette noire, l'épinette rouge et le sapin.

Traitements de fertilisation et les recrus

Après 5 ans, les données tendaient à démontrer que le passage des recrus de petits diamètres à la classe d'arbres de volume marchand était favorisé par la plupart des traitements de fertilisation pour les divers types de forêts. Après 10 ans, cette tendance n'existerait plus.

Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des conditions de peuplement

Les peuplements expérimentaux variaient beaucoup selon l'âge, l'indice de station, la densité initiale et le volume sur pied. Ces variables réflètent la productivité antérieure du peuplement et auraient présumément affecté les accroissements au cours de la période expérimentale de 5 ans. De plus, ces variables ont vraisemblement modifié les réactions aux traitements de fertilisation. Pour quantifier les corrélations possibles entre l'accroissement quinquennal (AQ), la réaction à la fertilisation et les variables du peuplement, les données des peuplements purs de pins gris et d'épinettes noires ont été soumises à des analyses de régression multiples.

Environ 60 % de la variation de AQ dans les placettes témoins de pins gris (AQo) des 29 dispositifs s'expliquait par les différences de surface terrière (ST) et d'âge (A).

$$AQo = 0,17 + 0,98ST - 0,34A \qquad R^2 = 0,58 \qquad (1)$$

Dans l'équation (1), AQo est exprimé en m^3/ha, ST en m^2/ha et A en années. Comme prévu, AQ augmentait avec ST et diminuait avec A. Cette corrélation était significative au niveau de probabilité de 1 % ($P = 0,01$). Le VT et l'indice de station n'ont pas contribué d'une façon significative à la régression de AQo dans les peuplements de pins gris.

Les analyses statisques ont montré différents niveaux de corrélation entre la réaction (ΔAQ) du pin gris et les variables du peuplement. Cependant, la régression de ΔAQ n'était significative ($P = 0.05$) que pour le traitement 2N + K.

$$^{\Delta AQ}2N + K = 12,34 + 0,06TV - 0,24A \qquad R^2 = 0,33 \qquad (2)$$

L'équation (2) prédit une augmentation de la réaction de 6 m^3/ha pour chaque 100 m^3/ha additionnel en volume sur pied à un âge constant. La réaction doit vraisemblablement diminuer avec l'âge. Cependant, le VT initial et A n'expliquaient que 33 % de la variation observée dans la réaction du pin gris suite au traitement 2N + K. L'indice de station et ST n'ont pas contribué de façon significative à la régression de $^{\Delta AQ}2N + K$.

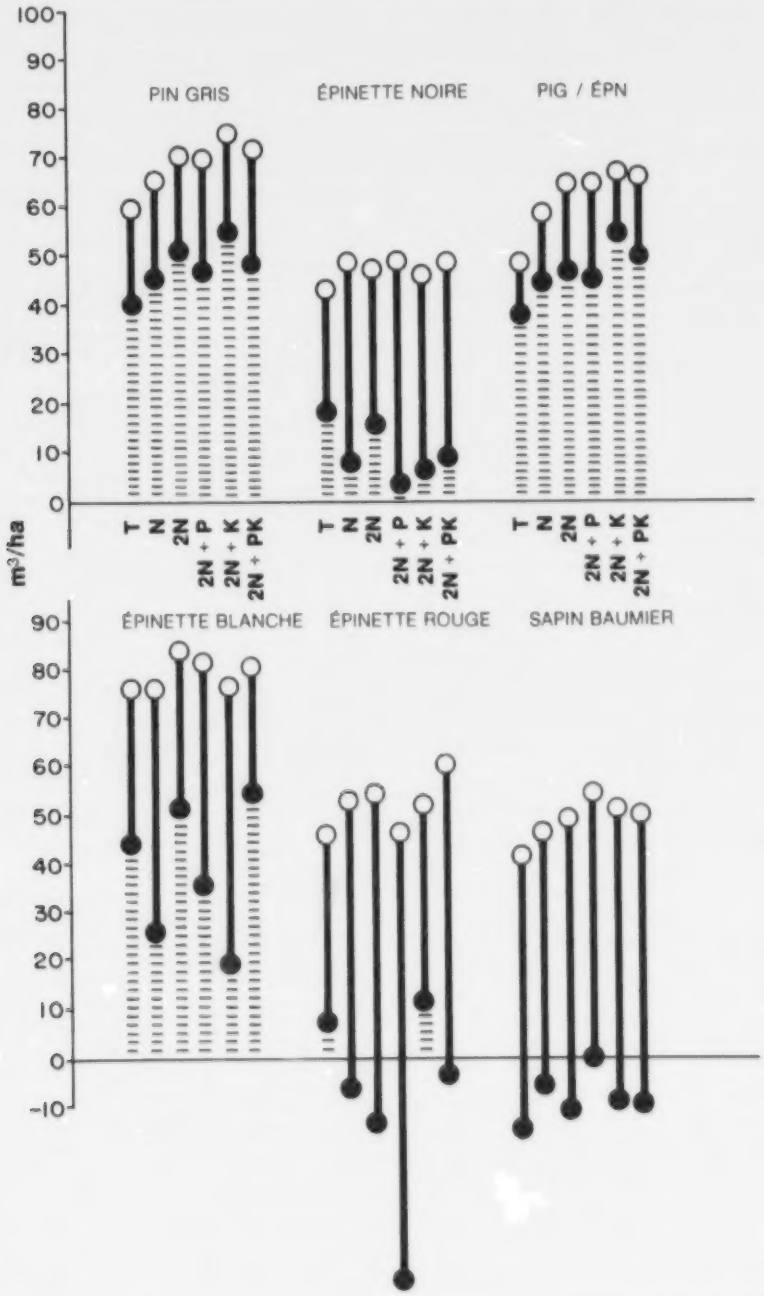


Figure 7. Accroissements brut et net en volume total selon les essences et les traitements au cours des cinq premières années consécutives à l'application d'engrais.

Les analyses des données sur l'épinette noire ont révelé une faible corrélation (R^2 = 0,42) entre AQ des placettes non traitées et les quatre variables du peuplement préalablement analysées pour le pin gris. Les corrélations entre les réactions à N et les variables du peuplement n'étaient pas significatives, mais apparemment les réactions aux traitements de fertilisation P et K dépendaient en partie des concditions du peuplement.

$$^{\Delta AQ}2N + K = 0,1 + 0,82ST - 0,1VT - 0,09A \quad R^2 = 0,52 \qquad (3)$$

Les 3 variables du peuplement, ST, VT et A, expliquaient 52 % de la variation de réaction au traitement 2N + PK observée pour l'épinette noire. L'indice de station n'a pas eu une contribution importante dans la régression. Comme pour le pin gris, les réactions aux applications d'engrais diminuaient avec l'âge. Pour une ST donnée, la réaction attendue devrait décroître avec le VT initial. Un VT élevé peut refléter un peuplement âgé, une qualité de station élevée ou les deux à la fois, lorsque la réaction à la fertilisation est moins bonne que prévue. La régression indiquée par l'équation (3) était significative à P = 0,01.

Accroissement quinquennal et réaction à la fertilisation en fonction des teneurs du feuillage en éléments

Les résultats d'analyses des éléments du feuillage étaient disponibles pour tous les dispositifs du Québec, pour quelques dispositifs de pins gris et d'épinettes noires de l'Ontario et pour plusieurs dispositifs d'épinettes blanches du Nouveau-Brunswick et de l'Alberta. Les données des analyses foliaires du pin gris et de l'épinette noire ont été soumises à des analyses de régression et de corrélation pour faire ressortir les relations possibles entre l'accroissement quinquennal (AQo) des placettes témoins et les teneurs du feuillage en éléments ou entre la réaction à la fertilisation et les teneurs du feuillage en éléments.

AQ du pin gris dans les placettes témoins accusait de faibles corrélations avec les concentrations dans le feuillage des 5 éléments nutritifs déterminés. Les coefficients de corrélatcn simple (r) variaient de 0,43 à 0,56. Dans les analyses de régression multiple, à peu près 60 % de la variation de AQo dans le pin gris s'expliquait par la différence dans les concentrations dans le feuillage de N, P, K, Ca et Mg. La régression de AQ sur le feuillage n'était pas significative au point de vue statistique vu le faible nombre de dispositifs dispinibles pour cette analyse.

Il y avait une relation significative pour la réaction du pin gris entre le traitement 2N et les concentrations d'éléments dans le feuillage.

$$^{\Delta AQ}2N = 0,37 - 25,2N + 159,3P - 41,9K - 3,4Ca + 363,4Mg$$
$$R^2 = 0,80 \qquad (4)$$

Les concentrations de N, P, K, CA, et Mg dans le feuillage expliquaient 80 % de la variation de la réaction à ce traitement. L'omission du calcium n'affectait que très peu le coefficient de détermination (R^2 = 0,80). D'autre part, les analyses de régression multiples ont fait ressortir davantage Mg et K comme les variables les plus importantes.

Le rôle important de Mg dans la régression de AQ (2N) est difficile à expliquer. Le dispositif expérimental ne prévoyait pas Mg dans les traitements. Ainsi, il ne peut être établi que les composantes de la régression qui se rapporte à Mg réflètent une relation de cause à effet ou que Mg seul est une variable étroitement liée à celle qui contrôle la réaction à la fertilisation. Cependant, Morrison et collab. (1976a) ont réalisé une expérience avec Mg; ils ont signalé une faible réaction (qui n'a pas été confirmée sur le plan statistique) à l'addition de Mg combiné avec N et P pour certaines doses d'application.

La régression de $^{\Delta AQ}2N$ avec les concentrations d'éléments dans le feuillage du pin gris était significative au niveau de 5 %. Les régressions des réactions du pin gris aux traitements 2N + P, 2N + K et 2N + PK avec les concentrations d'éléments dans le feuillage n'étaient pas statistiquement significatives. Les régressions des réactions de l'épinette noire sur les concentrations d'éléments dans le feuillage n'étaient pas significatives non plus.

Station, accroissements quinquennaux et réaction à la fertilisation

Les caractéristiques du site de chaque dispositif ont été identifiées au moment de l'établissement des placettes. Les principales variables du site considérées étaient la pente, l'origine et la texture de la roche-mère, le drainage, la profondeur d'enracinement et la composition du couvert végétal (annexe I).

Les rapports entre AQ ou la réaction aux traitements et les variables de la station identifiées sur le terrain n'ont pu être quantifiés au cours de l'analyse des données effectuée en vue de ce rapport. Les variables de la station ne semblent pas avoir joué de rôle important sur la croissance et la réaction à la fertilisation, et de plus les descriptions des stations ont été effectuées par des chercheurs différents dans chacune des 8 provinces participantes. La subjectivité est inévitable dans ce genre d'évaluation, et c'est ce qui aurait pu contribuer à ce manque apparent de rapport significatif, au point de vue statistique, entre la réaction à la fertilisation et les données de la station.

Discussion

Réaction au traitement à l'azote

Après 5 ans, les augmentations de croissance ont été significatives dans 9 des 14 groupes de dispositifs des différentes sections forestières et dans 16 des 81 dispositifs après l'application de N seul. Les réactions étaient plus fréquentes et tendaient à être plus fortes avec le traitement 2 N (224 kg/ha) qu'avec N (112 kg/ha). Les réactions variaient aussi avec l'essence et la section forestière mais sans aucune tendance précise.

Après 10 ans, les augmentations de croissance étaient encore significatives dans 8 des 14 groupes pour l'application de N par rapport au témoin.

Ampleur de la réaction

Pin gris

13 des 28 dispositifs ont une réaction statistiquement significative due aux traitements, après 10 ans. 4 dispositifs atteignent le niveau significatif entre la cinquième et la dixième années. Lorsque tous les dispositifs de pins gris sont combinés (figure 7) le gain net en volume atteint 5 m^3 pour le traitement de N à 112 kg/ha et de 6 à 15 m^3 pour 224 kg/ha de N. Sur une base individuelle, les dispositifs avec un effet significatif des traitements montrent de fortes variations quant à la réaction: de -6 à 16 m^3/ha pour le traitement de 112 kg/ha de N et de -7 à 28 m^3/ha pour 224 kg/ha de N. La variation de la réaction décennale en volume net était beaucoup plus grande après 10 qu'après 5 ans. Par comparaison, les valeurs quinquennales étaient 0,8 à 3,2 m^3/ha par année et de 1,3 à 38 m^3/ha par année respectivement. Les accroissement négatifs observés après 10 ans sont dus à la mortalité des arbres.

Morrison et collab. (1976b, 1977a et 1977b) ont mesuré des accroissements pour la période de 5 ans, aussi faibles que 6,0 m^3/ha et dépassant 12,5 m^3/ha à la suite d'application de 200 à 250 kg/ha de N. Ces auteurs laissent supposer l'existence d'une relation inverse entre la réaction à la fertilisation et la qualité stationnelle.

Hoyt (1973) a trouvé un accroissement annuel courant (AAC) de près de 1,5 m^3/ha dans deux peuplements de pins gris d'âge moyen du Nouveau-Brunswick au cours des 5 premières années consécutives à l'application de 168 kg/ha de N. Il a souligné que ces peuplements représentaient la classe de fertilité I et qu'il espérait des AAC moyens plus élevés dans des peuplements de qualités stationnelles inférieures. Les données du programme interprovincial n'ont pas réussi à montrer l'existence de relation mesurable entre l'indice de station ou les AC et la réaction à la fertilisation.

La fertilisation azotée des sols dans des plantations de pins gris à l'état de perchis a produit des AAC similaires à ceux obtenus dans les peuplements naturels (Leech, 1969; Timmer et Morrow, 1980)

Les données sur la réaction après 10 ans rapportées par Weetman et Fournier (1984a et b), Groot et collab. (1983) et Morrison, Foster et Swan (1981) pour des peuplements uniques montrent des résultats qui sont parfois plus élevés que ceux observés dans les 28 peuplements concernés dans le présent rapport.

Épinette noire

Dans les dispositifs d'épinettes noires où N a eu des effets significatifs, AAC après 5 ans s'est accru de 1,1 m^3/ha, soit 27 % (Québec 35) avec 112 kg/ha de N, et de 2 m^3/ha ou 76 % (Québec 36) avec 224 kg/ha de N. Dans les sections forestières Laurentides-Onatchiway et Missinaibi-Cabonga, les réactions moyennes ont été de 1,0 et 0,3 m^3/ha par année (22 et 8 %)à la suite du traitement 2N.

Après 10 ans, le traitement de 112 kg/ha de N, significatif dans 3 dispositifs, donne de 4 à 12 m^3/ha en volume net tandis que le traitement 224 kg/ha produit de -13 à 26 m^3/ha. Lorsque les 21 dispositifs d'épinettes noires sont combinés, les traitements de fertilisation produisent une perte nette après 10 ans par rapport au témoin à cause d'une mortalité plus élevée dans les placettes traitées (figure 7).

Par comparaison, van Nostrand (1979) rapporte des AAC de 2,3 et 2,6 m^3/ha (74 et 102 %) sur une période de 9 ans à la suite d'une application fractionnée de 202 kg/ha de N dans 2 peuplements d'épinettes noires à Terre-Neuve.

Au Nouveau-Brunswick, les expériences de fertilisation de 2 dispositifs d'épinettes noires montrent un gain annuel dû à la fertilisation de 1,0 m^3/ha pour les deux stations au cours des 5 premières années qui ont suivi l'application de 168 kg/ha de N. Les réactions relatives correspondantes sont de 18 et 29 % respectivement (Krause, 1981). Weetman et collab. (1980) ont rapporté une réaction similaire pour l'épinette noire croissant en montagne au Québec, à la suite d'une application de 112 kg/ha de N et une augmentation doublée lorsque N était appliqué au taux de 448 kg/ha. L'effet de la fertilisation lors d'un essai dans le nord de l'Ontario (Morrison et Foster, 1979) avec l'épinette noire a été comparable aux résultats obtenus au Nouveau-Brunswick. Une application de 150 kg/ha de N a produit un AAC sur 5 ans de 0,9 m^3/ha approximativement, soit 14 %. De plus faibles réactions relatives à l'application de N ont été observées lors des résultats préliminaires d'essais effectués dans des plantations d'épinettes noires dans le nord de l'Ontario (Timmer et Morrow, 1980).

D'autres études ont démontré que les carences en N sont courantes dans les peuplements d'épinettes noires d'âge moyen ou en voie de maturation dans l'est du Canada. La variété de réaction à des doses identiques d'application d'engrais azotés serait due aux différences de conditions des peuplements (équation 3) et aux niveaux de fertilité des sols. De plus, d'autres expériences de même que les essais effectués dans le cadre du programme interprovincial font ressortrir que les gains en volume par unité de poids de N appliqué auraient tendance à être plus faibles dans les peuplements d'épinettes noires que dans ceux de pins gris.

On peut expliquer de plusieurs façons le peu d'effet significatif de la fertilisation dans les peuplements d'épinettes noires du programme interprovincial. Le programme comprend un certain nombre de vieux peuplements dans lesquels les réactions sont moins probables, si l'on se base sur l'équation 3. Plusieurs stations sont caractérisées par un excès d'eau et d'autres auraient des teneurs en éléments suffisantes pour subvenir aux besoins du peuplement. Finalement, même si elle n'est pas significative au point de vue statistique, la croissance des placettes traitées avec N a été supérieure à celle des témoins dans 16 des 21 dispositifs après 5 ans et dans 12 après 10 ans. Ainsi, les véritables effets de N ont probablement été atténués par de fortes variations entre les traitements dans plusieurs dispositifs et la forte mortalité dans les peuplements denses.

Épinette blanche

L'AAC a été accru de 2,4 m^3/ha au cours de 5 premières années dans les 3 peuplements d'épinettes blanches de l'Alberta. C'est une des réactions les plus élevées aussi bien pour le programme interprovincial que pour les autres essais. Après 10 ans, 2 de ces peuplements montrent une forte réaction. Par contre, Morrison et Foster (1979) ont fait état de réactions inverses obtenues dans le nord de l'Ontario: les traitements avec N seul n'ont pas réussi à stimuler la croissance dans les peuplements où prédominait l'épinette blanche. Ce peuplement où l'AAC était approximativement de 9 m^3/ha confirme l'observation des auteurs à l'effet que les réactions à la fertilisation sont faibles dans les forêts fortement productives. Cette explication pourrait aussi être appliquée à l'essai de fertilisation dans un peuplement productif d'épinettes blanches en Nouvelle-Écosse qui n'a montré aucun effet significatif des traitements sur la croissance.

Épinette rouge

Pour cette essence, il existe peu d'information en provenance d'autres expériences. Un peuplement d'âge moyen à dominance d'épinette rouge situé au coeur du Nouveau-Brunswick a réagi au traitement N à raison de 168 kg/ha avec un AQ de 1,8 m^3/ha ou 50 % (Krause, 1981). Cette réaction est considérablement plus élevée que celle (1,2 m^3/ha par année) observée pour le traitement 2N dans la section de la Côte de Fundy (Nouvelle-Écosse 4), le seul dispositif d'épinettes rouges du programme interprovincial où les traitements ont eu des effets significatifs.

Sapin baumier

Dans les dispositifs de sapins baumiers où N a eu des effets significatifs, l'AAC au cours des 5 années a augmenté de 2,1 m^3/ha avec le traitement N (Québec 5) et de 3,1 m^3/ha pour les 2 doses d'application N et 2N (Québec 6). Dans le groupe des 6 peuplements de la section de la Gaspésie, un accroissement moyen de l'AAC de 1,9 m^3/ha a été observé. Une réaction semblable est signalé par Gagnon et collab. (1979) dans un autre peuplement de sapins baumiers au Québec. L'AAC a été accru de 1,3 m^3/ha au cours d'une période de 10 ans après une application de N à raison de 112 kg/ha.

Des gains plus faibles résultant des traitements N ont été enregistrés à la suite de plusieurs expériences au Nouveau-Brunswick. L'AAC a été augmenté de façon significative de 0,9 et 0,5 m^3/ha au cours de la période quinquennale consécutive à l'application de 168 kg/ha de N dans des peuplements de sapins baumiers, respectivement purs et mélangés (Krause, 1981). Un des peuplements représentait un site productif où l'insuffisance de N n'a pas affecté grandement la croissance. Un autre peuplement a été endommagé par la tordeuse. Dans un autre essai sur le sapin baumier au Nouveau-Brunswick (Hoyt, 1973), l'application de 168 kg/ha de N n'a pas augmenté la croissance de façon significative.

Plusieurs peuplements de sapins baumiers ont été endommagés par l'infestation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui a, sans aucun doute, modifié la croissance et la réaction de ces dispositifs à la fertilisation. Le programme interprovincial ainsi que les autres études distinctes ne laissent supposer que les arbres croissant sur des sols fertilisés sont plus résistants aux insectes. Les petites placettes conventionnelles sont facilement attaquées. Cependant, les observations de Sheedy (1977) ont un intérêt particulier; un bassin de 120 ha, fertilisé avec N par voie aérienne, est demeuré peu affecté par la tordeuse en dépit de la présence de l'insecte dans la forêt adjacente.

Dose d'application

Les courbes typiques des réactions à la fertilisation en forêt montrent que les rendements diminuent à mesure que les doses d'application augmentent et ce, jusqu'à ce que le maximum de productivité soit atteint; au-delà de ce point, la croissance diminue si les doses d'application augmentent (Malm et Moller, 1974; Morrison et collab., 1976b). Les essais effectués dans le cadre du programme interprovincial avec 3 doses d'application de N n'ont pas permis de tracer les courbes des réactions obtenues. Cependant, quelques aspects liés aux doses d'application méritent d'être discutés. L'ensemble des données sur la réaction après 5 ans est utilisé. Après 10 ans, les différences entre les taux de 112 et de 224 kg/ha furent beaucoup plus variables.

Pour l'ensemble des dispositifs où les traitements ont eu des effets significatifs, les réactions moyennes du pin gris aux additions de N à raison de 112 et de 224 kg/ha se sont chiffrées à 10,1 et 12,7 m^3/ha respectivement ou 9,0 et 5,6 m^3 de bois pour chaque 100 kg de N ajouté. Dans le groupe de peuplements de pins de la section Haut de la rivière des Anglais, les augmentations moyennes de l'AQ pour N et 2N ont été de 7,5 et de 10,8 m^3/ha respectivement, ce qui correspondait à 6,6 et 4,8 m^3 de bois par 100 kg de N. Cette diminution rapide des rendements obtenus avec des doses d'engrais plus fortes laisse supposer que les gains en volume observés avec 224 kg/ha de N sont près de la réaction maximale. Cette observation concorde avec les résultats de Morrison et collab. (1976b) qui ont enregistré des gains maximaux dus à la fertilisation d'un peuplement de pins gris avec 224 kg/ha et une diminution dans la réaction avec une application de 448 kg/ha de N sous forme d'urée. Par conséquent, des doses d'application supérieures à 224 kg/ha de N dans les peuplements de pins gris ne seraient pas justifiées. Dans les essais opérationnels de fertilisation, des doses d'application inférieures à 200 kg/ha de N seraient préférables à cause des diminutions rapides des rendements au-dessus de 112 kg/ha.

Les dispositifs individuels d'épinettes noires présentant des effets significatifs de N ont accusé des réactions de 4,5 et de 5,4 m^3/ha à l'application de N à la dose minimale et de 10,1 m^3/ha à la dose maximale. Cependant, dans le groupe de peuplements d'épinettes noires de la section Laurentides-Onatchiway, AQ avec le traitement 2N n'excédait que très légèrement celui du traitement N. Pour ceux de Missinaibi-Cabonga, la réaction moyenne au traitement 2N a été inférieure à celle du traitement N. Ainsi, il ne semble pas tellement évident que les doses d'application supérieures à 112 kg/ha de N soient justifiées. Morrison et Foster (1979) n'ont obtenu aucune réaction additionnelle dans un peuplement d'épinettes noires lorsque les doses d'application ont été accrues au-dessus de 150 ha de N. Cependant, Weetman et collab. (1980) ont signalé que la réaction d'un peuplement d'épinettes noires à l'application de N à raison de 112 kg/ha a doublé lorsque la dose a été portée à 448 kg/ha. Apparemment, la dose maximale d'application d'urée a fait plus que simplement apporter une quantité additionnelle de N. Il est probable qu'elle ait modifié les propriétés chimiques, physiques et biologiques de la couverture morte, provoquant ainsi une plus grande disponibilité de N initial et une accélération du cycle des éléments (Weetman et collab., 1980).

Les données du programme interprovincial pour le sapin baumier n'encouragent pas l'emploi de fortes doses de N. Dans le groupe de peuplements d'épinettes blanches de la section Forêt mixte, les accroissements obtenus à la suite du traitement 2N semblent démontrer un gain appréciable en volume (tableau 1). Cependant, les données ne sont pas concluantes, et un dispositif d'essais de dosage serait nécessaire pour montrer clairement l'effet de la dose d'application sur la réaction.

Supports de l'azote

Dans le cadre du programme interprovincial, l'urée a été choisie parce que c'est le type d'engrais azoté préféré dans les opérations de fertilisation en Amérique du Nord (Bengtson, 1976). À la fin des années 60 et 70, les chercheurs scandinaves ont démontré que le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) favorisait une meilleure réaction que l'urée chez l'épinette de Norvège et le pin sylvestre (Malm et Moller, 1974). Par conséquent, NH_4NO_3 avait remplacé l'urée dans plus de 50 % des travaux de fertilisation des forêts au début des années 70 (Bengtson, 1979).

Différentes raisons ont été suggérées pour expliquer la supériorité de NH_4NO_3: l'application d'urée par une température chaude et sèche peut être suivie de pertes importantes de NH_3 par volatilisation, surtout sur un sol de texture grossière recouvert d'une mince couche d'humus (Carrier et Bernier, 1971; Bernier et collab., 1972); la fixation et l'immobilisation de N-urée par la couche d'humus brut (Overrein, 1970); et le ralentissement de l'hydrolyse de l'urée due à une rareté d'uréase (Brantseg, 1967).

Sur le continent nord-américain, NH_4NO_3 s'est avéré initialement supérieur à l'urée dans une expérience sur le pin gris au Québec, mais après 10 ans il n'y avait différence significative entre NH_4NO_3, l'urée et le nitrate de calcium appliqués avec 2 taux (Weetman et Fournier, 1984b). Au cours d'essais avec le douglas taxifolié en Oregon, NH_4NO_3 a semblé supérieur (Harrington et Miller, 1979). Par contre, Morrison et collab. (1976a) n'ont pu déceler de différence entre les réactions du pin gris avec NH_4NO_3 et l'urée dans le nord de l'Ontario. Les études extensives avec les forêts de pins du sud-est des États-Unis n'ont pas permis de faire ressortir de différences majeures entre l'efficacité de l'urée et celle de NH_4NO_3 comme source de N (Bengtson, 1976). Un désavantage additionnel de NH_4NO_3 se situe dans une plus grande mobilité relative de l'ion nitrate qui peut être lessivé à travers le sol et accroître la contamination des eaux souterraines.

Plus récemment, les travaux du Camire (1980) sur des jeunes peuplements de pins gris au Québec ont démontré la supériorité du sulfate d'ammonium sur l'urée à la suite de traitements appliqués en automne. Cette observation complique davantage le choix du type d'engrais azoté. L'aménagiste forestier a besoin d'informations supplémentaires pour faire un choix logique entre les types d'engrais azotés généralement utilisés. Pour les opérations de fertilisation en Colombie-Britannique, l'urée est utilisée à cause des avantages au point de vue coût et chargement rapportés à un kilogramme de N appliqué comparativement à NH_4NO_3.

Effets peu concluants du phosphore et du potassium

Dans le premier rapport sur les résultats quinquennaux du programme interprovincial (Weetman et collab., 1976), N apparaissait comme le seul traitement ou composante de traitement efficace pour augmenter la croissance des arbres, bien qu'on ait obtenu une croissance maximale dans des placettes fertilisées au moyen des traitements combinés 2N + P, 2N + K et 2N + PK. Cette tendance de la réaction est encore évidente après l'évaluation de l'ensemble des 81 dispositifs. Dans plusieurs dispositifs, des augmentations significatives de la croissance sont survenues à la suite des traitements 2N + P, 2N + K et 2N + PK mais non pour les traitements de N.

On présume que, suivant le principe des facteurs limitatifs, des carences en un ou de plusieurs autres éléments pourraient s'amplifier à mesure que l'apport de N s'accroît. L'analyse foliaire a montré de faibles concentrations de P ou de K, en plus des faibles concentrations de N, dans plusieurs dispositifs. En outre, P est un facteur important dans l'équation 4 qui lie la réaction du pin gris aux concentrations d'éléments dans le feuillage. Cependant, les essais du programme interprovincial n'ont pas prouvé qu'il existait des limitations de croissance dues à des carences en P et en K dans les différentes sections forestières couvertes par ce programme.

Morrison et collab. (1976a) de même que Morrison et Foster (1979) ont observé des réactions similaires dans leurs études sur la fertilisation des forêts de pins gris et d'épinettes noires du nord de l'Ontario. Les dispositifs factoriels avec le pins gris, l'épinette noire, l'épinette mélangée, le sapin baumier et des peuplements purs de sapins baumiers au Nouveau-Brunswick, fertilisés avec deux doses de N, de P et de K, ont démontré fréquemment des augmentations de croissance dues à P et K, mais les interactions significatives sur le plan statistique n'étaient pas évidentes, et seul N a produit un effet vraiment significatif (Hoyt, 1973; Krause, 1981). Les essais de van Nostrand (1979) sur l'épinette noire à Terre-Neuve sont d'autres exemples importants d'effets non significatifs sur l'accroissement en volume après une application de P.

La preuve d'une croissance améliorée due à une interaction de N avec P a été récemment démontrée par Morrison et Foster (1979). À partir d'un dispositif factoriel dans un peuplement mélangé d'épinettes et de sapins baumiers, leurs données indiquaient un gain en VT de 11,3 m^3/ha pour le traitement combiné N et P, mais des effets négatifs ont été enregistrés quand l'un ou l'autre de ces éléments était appliqué séparément.

L'expérience finlandaise a démontré que P combiné à N pouvait parfois prolonger les effets de la fertilisation azotée (Viro, 1971).

Il est requis d'entreprendre de nouvelles expertises pour étudier les rôles de P et de K en fertilisation des forêts face à l'imprécision de l'information actuellement disponible.

Efficacité de la fertilisation

La quantité d'engrais requise pour produire une unité de volume en bois est une valeur dans la planification et l'évaluation des programmes de fertilisation des forêts. C'est un paramètre de l'efficacité de la fertilisation.

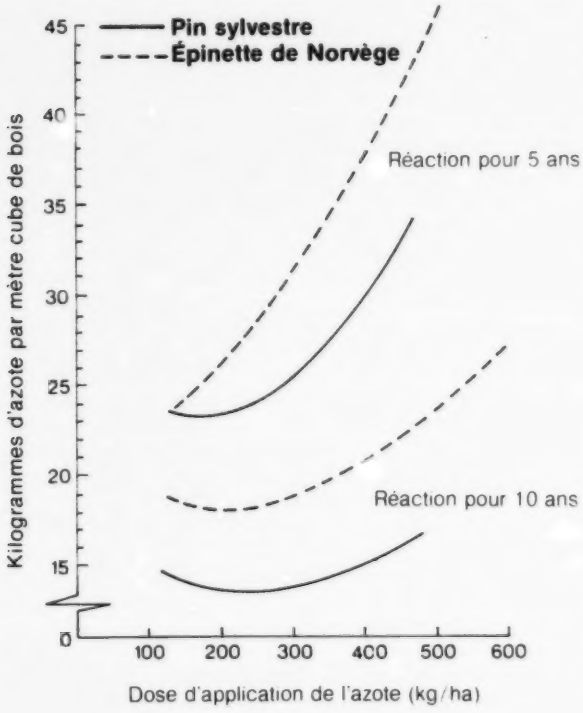
Des dispositifs de pins gris montrant des réactions significatives aux traitements N (112 kg/ha) et 2N (224 kg/ha) présentaient des gains en VT de 4,2 à 15,9 m^3/ha et de 6,6 à 19,0 m^3/ha respectivement. Ces valeurs correspondaient à un besoin d'engrais azoté de 7,0 à 26,7 kg/m^3 et de 11,7 à 34,9 kg/m^3 de bois. Pour les peuplements d'épinettes noires affichant des réactions significatives de croissance, les besoins en engrais azotés étaient 20,7 et 25,9 kg/m^3 à la dose d'application minimale et 22,2 kg/m^3 à la dose maximale. Dans les peuplements de sapins baumiers les proportions variaient entre 22 et 44 kg/m^3. Après 10 ans, plus de réactions aux engrais sont développées de même que la variabilité des réactions. Les variations de l'efficacité des engrais indiquent aussi qu'elles s'accroissaient par rapport à l'ensemble des réactions quinquennales. Après 10 ans, les données sur l'accroissement périodique basé sur les mesures du dhp en forêts denses ne sont pas aussi perceptibles que celles de 5 ans puisque la plupart des réactions surviennent au cours de 5 premières années.

La détermination précise de l'efficacité des engrais après 10 ans requerra des données d'accroissement obtenues par sondage d'arbres. Les proportions obtenues pour le pin gris et l'épinette noire sont généralement comparables aux observations suédoises. Le pin sylvestre et l'épinette de Norvège ont démontré des exigences moyennes de 23 à 27 kg/m^3 respectivement pour le bois produit par la fertilisation à l'urée à raison de 224 kg/m^3 de N (Jonsson, 1977).

Les études sur la nutrition du douglas taxifolié dans la région forestière du nord-ouest du Pacifique sont particulièrement intéressantes sur le plan de l'efficacité de la fertilisation. Les quantités requises de N pour produire un volume additionnel de bois en l'espace de 4 ans après une fertilisation avec l'urée à raison de 224 et de 448 kg/ha n'étaient que de 12 et 22 kg/ha. Le recyclage des éléments nutritifs appliqués est probablement la condition requise pour une efficacité élevée. Dans les régions mieux favorisées au point de vue du climat comme celles du douglas taxifolié dans l'Ouest, le cycle des éléments nutritifs est généralement plus rapide que dans les régions boréales du Canada et de la Scandinavie; il est aussi plus rapide dans les forêts de pins comparées aux peuplements d'épinettes (Krause et collab., 1978).

Selon les résultats obtenus en Suède (figure 8), l'efficacité de la fertilisation serait fortement dépendante de la dose d'application des engrais. Sur la base d'une durée de réaction de 5 ans, la quantité requise d'engrais pour produire un mètre cube de bois de pin sylvestre est la plus basse avec environ 180 kg/ha et s'accroît jusqu'à plus de 250 kg/ha. Les essais sur la productivité des forêts en Colombie-Britannique indiquent après 6 ans une efficacité approximative de 10 m^3 pour une application de 225 kg/ha d'urée dans une grande variété de stations de douglas taxifoliés. La réaction après 12 ans sur le site expérimental de douglas taxifoliés de pauvre qualité indique une efficacité aussi élevé que 4 kg/m^3. Pour l'épinette de Norvège, la quantité de N requise pour produire un mètre cube de bois s'accroît d'une façon linéaire à des taux d'application variant de 120 à 600 kg/ha. Parce que la réaction n'est habituellement pas terminée après 5 ans, ces résultats suédois indiquent une efficacité plus grande de la fertilisation lorsqu'on l'estime sur une période de 10 ans. En outre, l'efficacité maximale tend vers une application à des doses plus fortes sur une base de 10 ans au lieu de 5 ans.

À la suite d'application courante (1985) par voie aérienne d'urée au coût d'environ 1 $ par kilogramme de N appliqué, les figures d'efficacité indique le coût direct par mètre cube de bois supplémentaire produit par la fertilisation.



Prédiction de la réaction

La prédiction de la réaction à la fertilisation est le but principal de la plupart des expertises sur le terrain. Rosvall (1979) a développé un modèle de prédiction de la réaction basé sur l'expérience scandinave, dans lequel l'indice de station est le facteur-clé. Les réactions absolue et relative sont supposées décroître à mesure que l'indice de station croît.

Dans le programme interprovincial, l'indice de station ne contribue pas d'une façon significative à la régression sur la réaction à la fertilisation. Parmi les facteurs du peuplement, l'âge, la surface terrière initiale et le VT initial ont été les variables les plus importantes (équations 2 et 3). Cependant, les modèles de régression basés sur les caractéristiques du peuplement avaient une faible précision et ne pouvaient servir à prédire la réaction. L'analyse foliaire semblait plus prometteuse. En se basant sur l'équation 4, on peut prévoir une réaction assez précise du pin gris aux traitements azotés, à partir des concentrations foliaires des macro-éléments généralement analysés. L'élaboration de modèles efficaces de prédiction, ressemblant à l'exemple suédois pour la complexité (Rosvall, 1979), nécessiterait des essais additionnels aussi bien que des études systématiques sur le comportement des éléments nutritifs dans le sol et dans la plante.

Les mesures de masse des aiguilles et des teneurs en éléments nutritifs un an après le traitement s'avèrent être une méthode rapide pour évaluer les réactions dans des essais empiriques échelonnés sur une longue période (5-10 ans). Une telle approche a été essayée pour le sapin baumier (Timmer et Stone, 1978) aussi bien que pour le pin gris et l'épinette noire (Timmer et Morrow, 1980).

Considérations économiques et implications des résultats quant à l'aménagement forestier

La fertilisation peut s'évaluer au niveau du peuplement et au niveau de la fôret. Le programme interprovincial est d'abord orienté en fonction des bénéfices au niveau du peuplement, c'est-à-dire la production supplémentaire de bois dans un endroit donné.

Nadeau (1977), utilisant les résultats de quelques dispositifs de pins gris du programme interprovincial, a calculé les profits directs et indirects de la fertilisation pour le gouvernement et les compagnies. Le taux de rendement en dollars courants était positif et variait de 3 à 12 %.

Tucker (1974), dans une analyse économique détaillée des résultats de la fertilisation dans le nord-ouest de l'Ontario, a montré que la fertilisation du pin gris peut être financièrement intéressante pour les gouvernements provinciaux si la valeur ajoutée par la fabrication sert à calculer la valeur actuelle de la quantité de bois supplémentaire et si une rareté de bois existe au moment de la récolte des peuplements fertilisés. Il a montré aussi que les profits peuvent être augmentés si l'accroissement annuel supplémentaire prévu est récolté chaque année (effet de coupe permise), ce qui réduit les frais d'intérêt.

Cependant, les valeurs actuelles données par Tucker pour la valeur présente nette doivent être examinées prudemment car elles sont basées sur les premières réactions d'essais qui devaient durer 10 ans. De plus, les taux d'intérêt et les coûts des engrais, de la matière première et des produits manufacturés ont beaucoup varié au cours des dernières années. Ainsi, l'évaluation économique doit se faire pour chaque traitement de fertilisation et être révisée à mesure que les principaux paramètres changent avec le temps.

Dans plusieurs régions, l'aspect le plus encourageant de la fertilisation des forêts a consisté en la réduction des problèmes soulevés par les écarts de classes d'âge. Un des choix qui s'offrent à l'aménagiste forestier face à de tels problèmes est d'utiliser des engrais pour augmenter rapidement la croissance des peuplements les plus jeunes. Combinée à l'éclaircie, la fertilisation procurerait un rendement particulièrement élevé qui peut être considéré comme valeur stratégique (SCF, 1973). L'actuel programme de 19 millions de dollars pour la fertilisation des forêts en Colombie-Britannique est fondé sur ces considérations.

Les difficultés de réaliser cet important profit de la fertilisation dans les différentes régions du Canada semblent dues à:

1—l'absence de développement dans la planification des stratégies d'aménagement forestier;
2—une piètre utilisation des essences et des peuplements à faible croissance;
3—des problèmes de risques élevés liés aux pertes par les chablis et les insectes dans les forêts non aménagées;
4—de vastes réserves constituées principalement de peuplements ayant dépassé l'âge de la maturité;
5—des droits de coupe trop faibles sur les terres publiques;
6—un manque d'encouragement envers la culture de l'arbre en forêt publique;
7—des économies forestières régionales dominées par les faibles cours du bois à pâte et des copeaux.

À mesure que la demande locale en bois devient plus forte et que quelques-unes des contraintes précédentes diminuent, la fertilisation des forêts offrira de plus en plus d'attrait.

Carences dans les expériences du programme interprovincial

En choisissant le type de dispositif expérimental, on espérait que 2 répétitions par traitement avec des placettes soigneusement établies, des arbres mesurés et remesurés à 0,25 mm près (0,01 pouce) assureraient une précision suffisante pour détecter les effets dus aux traitements. Apparemment, ce but n'a pas été atteint dans plusieurs dispositifs (figure 9). Une précision expérimentale plus élevée, qui aurait probablement été obtenue avec un plus grand nombre de répétitions par traitement, serait nécessaire pour prouver les effets des additions de P et de K. En se basant sur l'expérience des équipes sur le terrain, il était déjà difficile de localiser des peuplements suffisamment uniformes et assez grands pour satisfaire les besoins d'un dispositif simplifié.

Le taux de mortalité élevé a réduit la précision de l'expérience dans plusieurs dispositifs. Avec une densité très élevée, les pertes excessives en volume dues à la mortalité naturelle des tiges auraient dû être prévues car les peuplements naturels d'arbres adultes et d'âge moyen et les futaies aménagées sont rares dans les forêts du Canada. Un autre facteur important est que dans les peuplements surabondants l'épaisseur du couvert ne peut se développer après un traitement de fertilisation. Le potentiel de la fertilisation ne peut être entièrement réalisé que lorsqu'on la combine à l'éclaircie (Jonsson et Moller, 1976).

La malencontreuse coïncidence entre la mise en place des essais et le début de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette a causé une perte de données dans les peuplements de sapins baumiers et d'épinettes blanches.

Après 10 ans, la courte réaction à la fertilisation observée dans le rapport quinquennal a été masquée par la croissance subséquente et la mortalité dans les peuplements. La réaction additionnelle plus faible observée après le remesurage quinquennal fut de plus en plus difficle à évaluer au point de vue statistique à cause d'une interférence croissante dans les essais due à la croissance subséquente des peuplements.

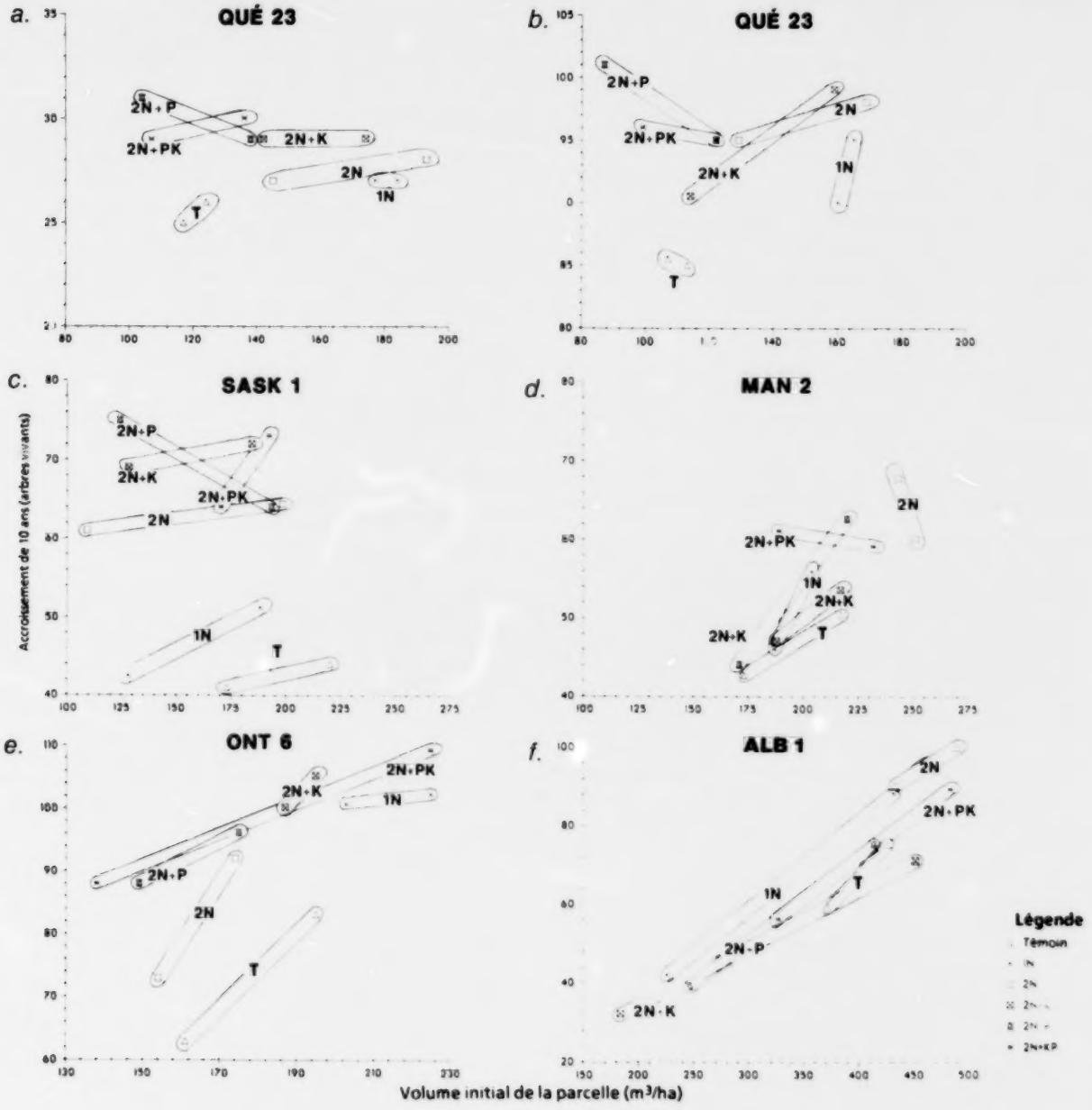
Les pertes dues à la mortalité au cours de cette période de 10 ans dans ces peuplements naturels non aménagés, de densité et de volume élevés sont très importantes, et à l'exception du pin gris elles masquent les effets des engrais.

Les essais pour vérifier la réaction des peuplements à la fertilisation, dans une aire aussi vaste que celle du Canada et où il n'y a que peu de peuplements d'âge moyen dans lesquels il y a contrôle de la densité, conduisent inévitablement à une grande variabilité du modèle des accroissements due à la mortalité périodique. Tandis qu'il est très douteux que des peuplements denses d'âge moyen et non aménagés, subissant des pertes majeures dues à la mortalité, soient des candidats pour une fertilisation sur une base opérationnelle, en réalité, ces derniers sont effectivement les seuls peuplements homogènes disponibles pour expérimentation dans cette classe d'âge.

Il est d'un intérêt scientifique et pratique considérable de savoir si ces sites et ces essences réagissent aux additions d'engrais. L'utilisation conventionnelle de placettes et des mesures de diamètres pour obtenir l'accroissement net en volume avec seulement 2 répétitions de chaque traitement sont nettement insuffisantes pour contrôler la forte variation. Les données de 10 ans pour chaque dispositif démontrent beaucoup de pertes sur le plan statistique lorsqu'elles sont comparées à l'ensemble des données de 5 ans. Cependant, en plus de la série d'analyses de variance et de comparaisons multiples, l'ensemble et l'amplitude des réactions en volume net des traitements sont aussi indicateurs de la réceptivité des peuplements.

Par rapport à ces critères d'ensemble et d'amplitude, il est clair que la plupart des peuplements ont réagi aux additions de N.

Les données sur les sondages d'arbres ne sont pas seulement une méthode précise pour détecter la réaction des arbres mais aussi pour connaître de quelle façon se développe le modèle des réactions annuelles. La comparaison a été faite dans un dispositif de pins gris (Québec 40); les mesures périodiques du dhp ne montraient pas de réaction significative après 10 ans, tandis que les mesures d'accroissement par sondage le démontraient (Weetman et Fournier, 1984b).


a.
QUÉ 23
2N+P
2N+PK
2N+K
2N
1N
T
b.
QUÉ 23
2N+P
2N+PK
2N+K
2N
1N
T
c.
SASK 1
2N+P
2N+K
2N+PK
2N
1N
T
d.
MAN 2
2N
2N+PK
1N
2N+K
2N+K
T
e.
ONT 6
2N+PK
2N+K
1N
2N+P
2N
T
f.
ALB 1
2N
2N+PK
1N
T
2N+P
2N+K
Accroissement de 10 ans (arbres vivants)
Volume initial de la parcelle (m³/ha)
Légende
Témoin
1N
2N
2N+K
2N+P
2N+PK

Résumé et conclusions

1. Après 5 ans, le pin gris a réagi de façon significative aux traitements de fertilisation dans 5 des 7 sections forestières et dans 13 des 29 dispositifs. Même si les augmentations de croissance ont été plus élevées avec les traitements combinés 2N + P, 2N + K et 2N + PK, les différences entre les traitements N et les traitements combinés n'étaient pas significatives sur le plan statistique. Dans les dispositifs où les traitements N (224 kg/ha) ont eu des effets significatifs, AQ s'est accru de 6,6 à 19,1 m^3/ha. 10ans après traitement, les valeurs moyennes par essence indiquent que seulement le pin gris montre des accroissements nets en volume de 5 à 15 m^3/ha dus à la fertilisation, après les pertes dues à la mortalité.

2. Après 5 ans, la fertilisation a amélioré la croissance de l'épinette noire de façon significative dans 2 des 4 sections forestières et dans 2 des 21 dispositifs pris séparément. Selon les moyennes des sections Laurentides-Onatchiway et Missinaibi-Cabonga, l'engrais azoté a été tout aussi efficace à l'une ou l'autre des doses utilisées et les additions de P et de K n'ont pas affecté la croissance davantage que N seul. 10 ans après traitement, les moyennes de seulement 5 dispositifs de la section Laurentides-Onatchiway montraient une réaction significative à la fertilisation. Les moyennes des essences montrent que les pertes élevées dues à la mortalité affectent fortement les accroissements nets en volume produits par les engrais.

3. Dans la section Forêt mixte, la croissance des peuplements mélangés de pins gris et d'épinettes noires a été augmentée par l'addition de N à la dose maximale et par toute combinaison de traitements à N, P et K. Bien que certains dispositifs aient montré des augmentations de croissance plus grandes avec les traitements combinés qu'avec les traitements N, les effets de P et de K n'ont pas été significatifs au point de vue statistique. Le pin gris a mieux réagi à l'addition d'engrais que l'épinette noire dans les peuplements mélangés.

4. Dans la section Forêt mixte de l'Alberta, les peuplements d'épinettes blanches ont accusé une croissance substantiellement améliorée par l'addition de N à la dose maximale. Mais dans les provinces Maritimes, aucune réaction n'a été observée. Dans une section, une grave infestation de la tordeuse a entravé l'expérience.

5. Les peuplements d'épinettes rouges de Nouvelle-Écosse, caractérisés par un fort volume et une mortalité excessive des tiges, ont montré des augmentations de croissance significatives à la suite des traitements 2N et 2N + PK dans 1 des 3 sections forestières.

6. Les peuplements de sapins baumiers ont réagi d'une façon significative à N et aux traitements combinés à N, P et K dans 2 des 7 sections forestières et dans 2 des 13 dispositifs. Les gains en volume total variaient de 10,3 à 17,6 m^3/ha, ce qui correspondait à des accroissements relatifs de l'AQ de 30 à 51 %.

7. Le peuplier faux-tremble, traité dans un seul dispositif situé dans la section Forêt mixte en Saskatchewan, s'est avéré l'essence la plus sensible à l'apport d'éléments. L'AQ périodique y a été augmenté de 37,3 m^3/ha, soit 111 %, avec le traitement 2N + PK. Aucune donnée n'est disponible sur la réaction après 10 ans.

8. Dans 60 des 81 dispositifs, la croissance observée pour chacun des traitements de fertilisation a été supérieure à celle des placettes témoins. Le peu de réaction significative sur le plan statistique ($P \leq 0,05$ pour le test de F, $P \leq 0,10$ pour le test de Scheffe) laisse supposer que les effets de la fertilisation ont été atténués par de fortes variations entre les traitements à cause de volumes inégaux, de la défoliation par les insectes et de la mortalité des tiges dans plusieurs dispositifs.

9. Dans 18 des 23 dispositifs où les traitements ont eu des effets significatifs, les plus fortes vitesses de croissance ont été obtenues avec la combinaison de traitements N, P et (ou) K. Dans 7 autres dispositifs, la croissance a été améliorée de façon significative pour les traitements combinés seulement. Cependant, dans tous les cas, les traitements azotés ou combinés ne différaient pas entre eux de façon significative. Cette absence de signification statistique devrait être considérée comme une preuve définitive de la présence de P et de K en quantités suffisantes dans le sol pour la croissance des arbres; mais ceci devrait être une indication de la nécessité de pousser plus loin les expériences.

10. L'efficacité de la fertilisation, mesurée par la quantité de N requise pour produire une unité de volume de bois, semble similaire dans les forêts couvertes par le programme interprovincial et celles de la Scandinavie, mais dans les forêts de douglas taxifoliés de la région nord-ouest du Pacifique, la fertilisation semble être plus efficace que dans l'est du Canada.

11. L'indice de station et les variables du site telles que le drainage, la texture, la roche-mère et la végétation du sol n'ont pas permis d'expliquer la réaction à la fertilisation. Les tentatives pour relier cette réaction à des variables du peuplement comme A, ST initiale et VT initial ont connu un succès limité. Toutefois, les teneurs foliaires en macro-éléments les plus souvent analysés intervenaient pour 80 % dans la réaction du pin gris à l'application de N à la dose maximale (2N).

Pour prédire la réaction de façon efficace, il faudra procéder à des essais supplémentaires sur le terrain et à des études approfondies sur la disponibilité des éléments et les interactions entre les engrais dans le milieu forestier.

12. Des analyses économiques ont montré que la fertilisation peut être financièrement intéressante dans les régions où l'approvisionnement en bois est couramment limité. Toutefois, la décision de fertiliser les forêts sera souvent motivée par l'absence de certaines classes d'âge d'essences commerciales importantes reliées à des possibilités réalisables décroissantes. Ces analyses ont permis d'énumérer les contraintes d'aménagement liées à l'utilisation des engrais pour accroître rapidement la croissance des forêts du Canada et de suggérer les mesures à prendre pour les mettre en valeur.

13. Lors de l'expérimentation pour obtenir une réaction à la fertilisation dans des peuplements d'âge moyen, denses et non aménagés, avec l'utilisation de placettes conventionnelles de croissance et les mesures de diamètre, il a été observé que les fortes pertes dues à la mortalité et la variabilité entre les placettes nécessitent l'utilisation de plus de 2 répétitions par traitement pour détecter les réactions significatives aux traitements. Les mesures d'accroissement par sondages d'arbres auraient permis de déceler plus précisément les réactions aux engrais, relativement faibles mais réelles, même avec l'interférence de la mortalité et de la variation entre les placettes.

Tableau 1. Nombre des dispositifs inclus dans le remesurage décennal et de ceux qui ont été à l'origine (ces derniers sont inscrits entre parenthèses lorsqu'il y a différence)

	Nouvelle-Écosse	Nouveau-Brunswick	Québec	Ontario	Manitoba	Saskat-chewan	Alberta	Total
1968/69	0	0(2)	0	0	0	0	0	0(2)
1969/70	2(3)	0	7(8)	5(5)	8(8)	2(2)	2(2)	26(28)
1970/71	2(2)	0	14(14)	6(7)	0	0	0	22(23)
1971/72	0	0	9(10)	6(6)	0	1	0	16(17)
1972/73	0	0	7(8)	0	0	0(2)	1(1)	8(11)
Total	4(5)	0(2)	37(40)	17(18)	8(8)	3(5)	3(3)	72(81)
Pin gris	0	0	12(12)	13(14)	2(2)	1(1)	0	28(29)
Épin. noire	0	0	12(12)	4(4)	4(4)	0(1)	0	21(21)
Pin gris/ épin. noire	0	0	3(3)	0	2(2)	2(2)	0	7(7)
Épin. blanche	1(1)	0(2)	0	0	0	0	3(3)	4(6)
Épin. rouge	3(3)	0	0	0	0	0	0	3(3)
Sapin baumier	0(1)	0	10(13)	0	0	0	0	10(14)
Peuplier faux-tremble	0	0	0	0	0	0(1)	0	0(1)
Total	4(5)	0(2)	37(40)	17(18)	8(8)	3(5)	3(3)	72(81)

Tableau 2. Sections forestières, âge et indice de station des peuplements de pins gris étudiés

Dispositif	Section forestière[a]	Âge	Indice de station[b]
Qué. 10	B.7 Missinaibi-Cabonga	46	18,3
Qué. 11	B.7 Missinaibi-Cabonga	44	19,8
Qué. 18	B.4 Argiles du Nord	54	13,1
Qué. 19	B.4 Argiles du Nord	48	14,3
Qué. 20	B.4 Argiles du Nord	46	17,1
Qué. 23	L.4b Algonquin-Pontiac	38	16,8
Qué. 26	B.7 Missinaibi-Cabonga	42	15,8
Qué. 31	B.1a Laurentides-Onatchiway	54	16,5
Qué. 33	L.7 Saguenay	38	16,5
Qué. 38	B.4b Laurentides-Onatchiway	45	13,7
Qué. 39	B.4b Laurentides-Onatchiway	45	13,7
Qué. 40	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	12,8
Ont. 3	B.7 Missinaibi-Cabonga	55	14,6
Ont. 4	B.7 Missinaibi-Cabonga	48	17,8
Ont. 5	B.7 Missinaibi-Cabonga	45	18,3
Ont. 6	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	15,8
Ont. 7	B.7 Missinaibi-Cabonga	31	15,2
Ont. 8	B.7 Missinaibi-Cabonga	28	16,8
Ont. 9	B.7 Missinaibi-Cabonga	21	18,0
Ont. 10	B.7 Missinaibi-Cabonga	21	18,0
Ont. 13	B.11 Haut de la riv. des Anglais	49	16,5
Ont. 14[c]	B.11 Haut de la riv. des Anglais	49	16,5
Ont. 15	B.11 Haut de la riv. des Anglais	56	14,0
Ont. 16	B.11 Haut de la riv. des Anglais	56	14,3
Ont. 17	B.11 Haut de la riv. des Anglais	33	14,3
Ont. 18	B.11 Haut de la riv. des Anglais	36	12,8
Man. 1	B.18a Forêt mixte	62	12,5
Man. 2	B.18a Forêt mixte	70	12,5
Sask. 2	B.18a Forêt mixte	73	13,7

[a]Selon Rowe, 1972.
[b]Hauteur en mètres à l'âge de 50 ans.
[c]Dispositif perdu au cours de la deuxième période de 5 ans.

Tableau 3. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de pins gris témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Algonquin-Pontiac, Saguenay, Laurentides-Onatchiway et Argiles du Nord[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		C	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha^b					
Algonquin-Pontiac							
Québec 23	109	85,3	92,0	96,3	98,0	94,7	95,4
Saguenay							
Québec 33	98	49,5	46,6	49,7	47,7	61,3	63,0
Laurentides-Onatchiway							
Québec 31	219	59,9	64,4	68,6	72,3	69,0	66,8
Québec 38	92	29,5	28,2	40,3	36,2	44,1	43,7
Québec 39	67	32,8	40,3	41,4	50,8	46,0	46,4
Moyenne	126	40,7	44,3	50,1	53,1	53,0	52,3
Argile du Nord							
Québec 18	123	46,3	54,1	60,2	66,7	62,7	67,6
Québec 19	144	43,9	49,1	51,3	56,3	59,6	45,6
Québec 20	192	54,5	66,7	66,4	61,3	63,5	63,6
Moyenne	153	48,2	56,6	59,3	61,4	61,9	58,9

[a]Selon les données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy du ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Tableau 4. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de pins gris témoins et dans ceux fertilisés de la section forestière Missinaibi-Cabonga[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		V	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha^b					
Québec 10	189	46,3	59,5	73,9	69,4	71,9	63,2
Québec 11	238	66,8	68,1	67,7	72,4	91,9	78,7
Québec 26	121	35,5	43,5	47,0	56,2	55,5	54,2
Québec 40	185	60,9	67,9	76,2	71,5	82,6	79,7
Ontario 3	159	59,1	62,5	69,9	65,6	72,3	67,9
Ontario 4	217	66,4	69,2	67,0	67,6	77,7	74,3
Ontario 5	230	49,1	52,4	59,0	58,0	61,5	58,1
Ontario 6	183	74,4	90,9	88,4	97,3	99,6	98,7
Ontario 7	156	83,9	88,0	97,5	99,4	107,9	102,6
Ontario 8	137	97,0	106,3	96,2	112,5	118,8	113,5
Ontario 9	86	68,7	80,3	86,6	89,7	78,5	83,1
Ontario 10	90	89,8	91,6	102,1	97,7	98,9	104,7
Moyenne[c]	166	66,5[1]	73,4[1,2]	77,6[2]	79,8[2]	84,8[2]	81,6[2]

[a]Selon les données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy du ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, et par J.D. Scott du ministère des Ressources Naturelles, Ontario.
[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.
[c]Les moyennes affichant le même chiffre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 5. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de pins gris témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Haut de la rivière des Anglais et Forêt mixte[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha^b					
Haut de la rivière des Anglais							
Ontario 13	218	69,7	83,8	87,3	62,3	86,1	74,3
Ontario 15	213	77,0	77,8	81,1	65,2	102,7	94,3
Ontario 16	169	68,1	71,9	72,1	74,6	88,6	80,9
Ontario 17	103	61,4	61,8	63,6	60,3	66,3	58,3
Ontario 18	116	54,5	68,2	78,7	73,6	67,8	75,1
Moyenne[c]	164	$66,1^{1}$	$72,7^{2}$	$76,6^{2,3}$	$67,2^{1,2}$	$82,3^{3}$	$76,6^{2,3}$
Forêt mixte							
Manitoba 1	219	59,0	64,2	66,1	52,8	54,1	55,5
Manitoba 2	195	46,9	51,4	62,8	53,7	50,4	60,0
Saskatchewan 2	209	42,7	50,5	55,4	56,3	54,1	51,8
Moyenne[c]	208	$49,5^{1}$	$55,4^{1}$	$61,4^{1}$	$54,3^{1}$	$52,9^{1}$	$55,8^{1}$

[a]Selon les données fournies par J.D. Scott du ministère des Ressources Naturelles, Ontario, par G. McColm du ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport, Manitoba, et par J. Soos du Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord.

[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

[c]Les moyennes affichant le même chiffre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 6. Sections forestières, âge, indice de station des dispositifs d'épinettes noires et des peuplements mélangés de pins gris et d'épinettes noires

Dispositif	Section forestière[a]	Âge	Indice de station[b]
Épinette noire			
Qué. 8	B.7 Missinaibi-Cabonga	41	15,8
Qué. 13	B.4 Argiles du Nord	57	12,8
Qué. 14	B.4 Argiles du Nord	55	11,0
Qué. 17	B.4 Argiles du Nord	55	12,8
Qué. 21	B.4 Argiles du Nord	58	10,4
Qué. 22	B.7 Missinaibi-Cabonga	45	13,4
Qué. 25	B.7 Missinaibi-Cabonga	44	12,2
Qué. 28	B.1a Laurentides-Onatchiway	72	10,7
Qué. 30	B.1a Laurentides-Onatchiway	80	9,4
Qué. 35	B.1a Laurentides-Onatchiway	47	7,6
Qué. 36	B.1a Laurentides-Onatchiway	54	12,2
Qué. 37	B.1a Laurentides-Onatchiway	65	13,4
Ont. 1	B.4 Argiles du Nord	51	14,6
Ont. 2	B.4 Argiles du Nord	56	14,6
Ont. 11	B.4 Argiles du Nord	75	10,1
Ont. 12	B.4 Argiles du Nord	70	10,7
Man. 5	B.18a Forêt mixte	68	13,7
Man. 6	B.18a Forêt mixte	65	11,3
Man. 7	B.18a Forêt mixte	80	10,1
Man. 8	B.18a Forêt mixte	57	10,4
Sask. 3[c]	B.18a Forêt mixte	80	10,7
Pin gris – épinette noire			
Qué. 15	B.4 Argiles du Nord	56	12,8
Qué. 24	B.7 Missinaibi-Cabonga	40	18,3
Qué. 32	B.1a Laurentides-Onatchiway	47	15,2
Man. 3	B.18a Forêt mixte	62	11,6
Man. 4	B.18a Forêt mixte	62	12,2
Sask. 1	B.18a Forêt mixte	85	9,1
Sask. 5	B.18a Forêt mixte	85	9,1

[a]Selon Rowe, 1972.
[b]Hauteur en mètres à 50 ans.
[c]Dispositif perdu au cours de la deuxième période de 5 ans.

Tableau 7. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements d'épinettes noires témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Laurentides-Onatchiway et Argiles du Nord[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha^b					
Laurentides-Onatchiway							
Québec 28	168	36,7	41,1	38,9	34,3	34,5	40,8
Québec 30	171	34,7	38,1	33,0	35,9	36,2	31,6
Québec 35	138	39,6	45,1	49,5	55,9	49,3	55,5
Québec 36	114	28,8	37,3	47,[illegible]	49,2	51,4	52,9
Québec 37	266	33,0	34,7	37,8	28,8	39,6	33,3
Moyenne	171	34,6	39,3	41,3	40,8	42,2	42,8
Argiles du Nord							
Québec 13	209	52,2	61,6	60,6	69,6	62,2	58,2
Québec 14	135	53,8	51,2	51,1	57,7	57,2	54,9
Québec 17	83	26,5	30,5	34,9	31,5	30,0	23,7
Québec 21	106	36,4	43,4	46,2	47,7	35,4	41,7
Ontario 1	182	49,9	49,7	47,8	45,2	45,7	42,7
Ontario 2	234	48,0	52,9	46,7	48,4	42,2	53,5
Ontario 11	273	48,3	33,5	38,8	27,6	56,0	43,3
Ontario 12	397	51,3	70,9	59,5	56,2	56,1	59,3
Moyenne	202	45,8	49,2	48,2	48,0	48,1	47,2

[a]Selon les données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy du ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, et par J.D. Scott du ministère des Ressources naturelles, Ontario.
[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Tableau 8. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements d'épinettes noires témoins et dans ceux fertilisés des sections forestières Missinaibi-Cabonga et Forêt mixte[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha[b]					
Missinaibi-Cabonga							
Québec 8	196	46,8	52,0	50,7	53,8	35,3	58,0
Québec 22	105	37,8	46,8	38,0	62,0	38,3	46,8
Québec 25	105	37,2	43,9	36,4	47,0	43,8	46,4
Moyenne[c]	135	40,6[1]	47,6[1,2]	41,7[1]	54,3[2]	39,1[1]	50,4[2]
Forêt mixte							
Manitoba 5	202	51,5	55,8	55,3	57,8	52,0	56,8
Manitoba 6	248	41,8	55,6	64,0	49,6	44,4	60,4
Manitoba 7	198	54,6	54,3	58,4	54,7	51,6	56,3
Manitoba 8	345	61,7	57,5	53,4	57,1	57,4	57,3
Moyenne[c]	248	52,4[1]	55,8[1]	57,8[1]	54,8[1]	51,4[1]	57,7[1]

[a]Selon les données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy du ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, et par J. Soos du Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord.
[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.
[c]Les moyennes affichant le même chiffre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 9. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans des dispositifs avec des peuplements mélangés de pins gris et d'épinettes noires[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha^b					
Laurentides–Onatchiway							
Québec 32	121	42,9	50,7	52,1	59,1	61,8	60,0
Argiles du Nord							
Québec 15	226	65,5	77,7	77,4	76,8	77,7	77,4
Missinaibi–Cabonga							
Québec 24	143	63,0	72,7	74,0	77,6	87,4	84,9
Forêt mixte							
Manitoba 3	159	34,2	50,4	50,8	47,1	49,1	50,1
Manitoba 4	204	44,9	59,5	58,0	63,0	60,2	55,6
Saskatchewan 1	197	42,6	46,9	62,5	69,1	69,8	67,8
Saskatchewan 5	206	43,8	49,3	75,0	59,8	63,3	66,1
Moyenne	192	41,4	51,5	61,6	59,8	60,6	59,9

[a]Selon les données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy du ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, par G. McColm du ministère des Ressources renouvelables et des Services de transport, Manitoba, et par J. Soos du Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord.

[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Tableau 10. Sections forestières, âge et indice de station des dispositifs d'épinettes blanches, d'épinettes rouges et de sapins baumiers

Dispositif	Section forestière[a]	Âge	Indice de station[b]
Épinette blanche			
Nouvelle-Écosse 2	A.7 Cap-Breton-Antigonish	35	17,4
Nouveau-Brunswick 1[c]	A.9 Côte de Fundy	45	15,2
Nouveau-Brunswick 2[c]	A.9 Côte de Fundy	45	15,2
Alberta 1	B.18a Forêt mixte	90	16,8
Alberta 2	B.18a Forêt mixte	50	14,6
Alberta 3	B.18a Forêt mixte	84	15,2
Épinette rouge			
Nouvelle-Écosse 1	A.12 Basses terres centrales	55	14,3
Nouvelle-Écosse 4	A.9 Côte de Fundy	50	13,4
Nouvelle-Écosse 5	A.11 Hautes terres atlantiques	62	12,5
Sapin baumier			
Nouvelle-Écosse 3[c]	A.6 Plateau du Cap-Breton	50	12,8
Québec 1	B.2 Gaspé	50	13,7
Québec 2	B.2 Gaspé	45	13,7
Québec 3[c]	B.2 Gaspé	59	10,7
Québec 4	B.2 Gaspé	61	10,7
Québec 5	B.2 Gaspé	59	10,7
Québec 6	B.2 Gaspé	62	10,7
Québec 7	L.6 Témiscouata-Restigouche	56	12,2
Québec 9	B.7 Missinaibi-Cabonga	46	15,2
Québec 12	L.9 Timagami	50	12,8
Québec 16	B.4 Argiles du Nord	59	12,2
Québec 27[c]	B.1a Laurentides-Onatchiway	47	15,8
Québec 29[c]	B.1a Laurentides-Onatchiway	46	14,9
Québec 34[c]	B.1a Laurentides-Onatchiway	51	15,8

[a]Selon Rowe, 1972.
[b]Hauteur en mètres à 50 ans.
[c]Dispositifs perdus au cours de la deuxième période de 5 ans.

Tableau 11. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans des peuplements d'épinettes blanches et d'épinettes rouges avec et sans traitements de fertilisation[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha[b]					
Épinette blanche							
Cap-Breton-Antigonish							
Nouvelle-Écosse 2[c]	223	74,3[1]	54,9[1]	66,9[1]	81,5[1]	61,6[1]	67,0[1]
Forêt mixte							
Alberta 1	375	63,4	73,4	80,9	65,4	62,0	67,5
Alberta 2	265	105,0	102,3	103,1	95,9	98,8	104,3
Alberta 3	211	60,6	69,5	80,9	82,0	81,3	84,0
Moyenne[2]	280	76,3[1]	81,7[1]	88,3[2]	81,1[1]	80,7[1]	85,3[1]
Épinette rouge							
Basses terres centrales							
Nouvelle-Écosse 1	245	53,3[1]	68,1[1]	69,8[1]	51,9[1]	62,4[1]	62,6[1]
Côte de Fundy							
Nouvelle-Écosse 4	247	25,1[1]	32,2[1,2]	37,1[2]	27,6[1]	31,4[1,2]	34,6[2]
Hautes terres atlantiques							
Nouvelle-Écosse 5	182	61,4[1]	55,9[1]	54,5[1]	56,2[1]	61,8[1]	82,7[1]

[a]Selon les données fournies par V. Timmer du Service canadien des forêts-Maritimes, par S.J. Hoyt du ministère des Ressources naturelles, Nouveau-Brunswick, et par E. Ritcey du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Alberta.

[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

[c]Les moyennes affichant le même chiffre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 12. Volume total (VT) initial et accroissement décennal dans les peuplements de sapins baumiers[a]

Dispositif	VT initial	Accroissement décennal en volume total					
		T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
		m^3/ha^b					
Sapin baumier							
Gaspé							
Québec 1	289	64,0	65,9	66,0	78,0	79,7	73,5
Québec 2	221	45,5	56,4	55,0	51,6	57,1	60,0
Québec 4	233	39,9	42,4	54,1	55,0	51,0	39,1
Québec 5	223	54,1	71,6	68,9	83,4	70,3	77,2
Québec 6	102	29,3	36,2	38,4	36,1	33,6	33,5
Moyenne[2]	214	46,6[1]	54,5[1,2]	56,5[2]	60,8[2]	58,3[2]	56,7[2]
Témiscouata-Restigouche							
Québec 7	180	47,4[1]	45,9[1]	44,4[1]	54,6[1]	50,9[1]	47,4[1]
Argiles du Nord							
Québec 16	94	16,0[1]	19,3[1]	23,5[1]	37,0[1]	31,0[1]	29,5[1]
Missinaibi-Cabonga							
Québec 9	119	39,0[1]	39,4[1]	41,5[1]	44,0[1]	40,8[1]	53,4[1]
Timagami							
Québec 12	113	32,8	30,2[1]	35,8[1]	44,3[1]	41,7[1]	35,6[1]

[a]Selon les données fournies par J.-M. Veilleux et G. Sheedy du ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
[b]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.
[c]Les moyennes affichant le même chiffre en exposant ne diffèrent pas de façon significative.

Tableau 13. Mortalité et recrutement des arbres de petits diamètres en fraction du volume marchand au cours des 10 premières années consécutives aux traitements

Essence	Mortalité						Recrutement				
	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha^a						m^3/ha^a					
Pin gris	19,7	20,8	19,7	22,6	19,7	23,6	9,0	9,7	12,4	9,7	9,2	11,1
Épinette noire	25,5	41,2	31,8	45,1	40,5	40,4	6,2	5,5	6,9	6,8	6,7	6,1
Pin gris/ épinette noire	10,8	13,9	19,0	19,6	12,5	16,5	7,6	7,1	5,3	5,5	5,6	5,2
Épinette blanche	32,6	49,4	32,9	46,6	57,1	26,8	3,1	5,1	3,8	4,1	3,7	1,9
Épinette rouge	39,1	58,2	67,2	89,3	40,6	63,4	0,6	1,2	1,6	2,4	2,3	1,2
Sapin baumier	54,4	50,5	58,0	53,7	59,5	58,9	4,9	5,5	5,3	4,4	5,1	7,0

[a]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Références bibliographiques

Armson, K.A. 1967. Review of forest-fertilization in Canada. Can. Dep. For. Rural Develop., Ottawa. Publ. No. 1186. 175p.

Armson, K.A. 1972. Fertilizer distribution and sampling techniques in the aerial fertilization of forests. Univ. Toronto, Fac. Forestry Tech. Rep. No. 11, 28 pp.

Armson, K.A.; Krause, H.H.; Weetman, G.F. 1975. Fertilization response in the northern coniferous forest. Forest Soils and Forest Land Management. Pages 449-466 *in* B. Bernier and C.H. Winget, eds. Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference, Laval University, Québec, Aug. 1973. Les Presses de l'Université Laval, Québec.

Ballard, R. 1984. Fertilization of plantations. Pages 327-360 *in* Bowen and Nambiar, eds. Nutrition of plantation forests. Academic Press.

Bengtson, G.W. 1976. Fertilizers in use and under evaluation in silviculture: A status report. Proc. XVI IUFRO World Congr.

Barclay, H.; Brix, H.; Layton, C.R. 1982. Fertilization and thinning effects on a Douglas-fir ecosystem at Shawnigan Lake: 9-year response. Can. For. Serv., Pacific For. Res. Centre, Victoria, B.C. Inf. Rep. BC-X-238.

Bernier, B.; Brazeau, M.; Winget, C.H. 1972. Gaseous loss of ammonia following urea application in a balsam fir forest. Can. J. For. Res. 2:79-82.

Brantseg, A. 1967. Skogsgodsling pa fastmark. Skogsgodsl. Nya Vetenskalp. Ron 9:3-22.

Brazeau, M. 1979. Incidence de la fertilisation sur la nutrition et la croissance du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) en forêt naturelle. Thèse de doctorat, Univ. Laval, Cité Universitaire, Québec.

British Columbia Ministry of Forests. 1983. Forest productivity installations. Page 54 *in* Research Review.

Camire, C. 1980. Fertilisation azotée en forêt de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) Thèse de doctorat. Univ. Laval. Cité Universitaire, Québec.

Carrier, D.; Bernier, B. 1971. Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale après fertilisation en forêt de pin gris. Can. J. For. Res. 1:69:79.

Evert, F. 1976. Back to the basics. For. Chron. 52:171.

Foster, N.W. 1979. The importance of chemical reactions and microbial activity in immobilizing urea nitrogen in jack pine humus. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ont.

Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *Pinus banksiana* ecosystem. Ecology 57:110-120.

Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1983a. Soil fertility, fertilization and growth of Canadian forests. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Centre, Sault Ste. Marie, Ont. Info. Rep. O-X-353.

Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1983b. Fertilization of coniferous forests in the Lake Superior Region. Pages 164-170 *in* J.C. Stier, ed. Silviculture of established stands in north central forests. Symp. Proc. SAF Region V. Tech. Conf. Duluth, Minn. September 1983. SAF Publ. 83-11.

Gagnon, J.D.; Roberge, M.; Truong dinh Phu; Swan, H.S.D. 1979. Effets de la fertilisation, après 10 ans, sur la croissance et le milieu d'une sapinière naturelle de 60 ans au nord-est du Québec. Serv. can. for., Centre rech. for. Laurentides, Sainte-Foy (Qué.) Rapp. d'inf. LAU-X-36.

Groot, A.; Brown, K.M.; Morrison, I.K.; Barker, J.E. 1984. A 10-year tree and stand response of jack pine to urea fertilization and low thinning. Can. J. For. Res. 14(1):44-50.

Hamilton, M.A. 1965. Multiple comparison procedures. U.S. For. Serv. Research Note — RM 44, 12p.

Harrington, C.A.; Miller, R.E. 1979. Response of a 100 year-old Douglas-fir stand to urea and ammonium nitrate fertilization. U.S. For. Serv., Pac. Northwest For. Rang. Exp. Stn. Research Note 336.

Honer, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Can. Dep. For. and Rural Dev., For. Branch, Ottawa. Inf. Rep. FMR-X-5.

Hoyt, J.S. 1973. Growth increases after fertilization in mature jack pine and balsam fir stands. New Brunswick Dep. Natural Resources, For. Branch. 81 pp.

Jonsson, S. 1977. Results from the 10-year-old series of trials with high doses of nitrogen fertilization (Swedish with English summary). Förenitgen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsforbättring. Årsbok 1977, p.79-128.

Jonsson, S.; Moller, G. 1976. Fertilization and thinning effects in overstocked pine stands. (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsforbättring, Årsbok 1976, p. 62-116.

Krause, H.H. 1981. Factorial experiments with nitrogen, phosphorus, and potassium in spruce and fir stands of New Brunswick: 10-year results. Can. For. Serv., Maritime For. Res. Cent., Fredericton, N.B. Inf. Rep. M-X-123. 27 p.

Krause, H.H.; Weetman, G.F.; Arp. P.A. 1978. Nutrient cycling in boreal forest ecosystems. Forest Soils and Land Use. Pages 287-319 *in* C.T. Youngberg, ed. Proceedings of the Fifth North American Forest Soils Conference, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, Aug., 1978.

Leech, R.H. 1969. Response of a jack pine plantation to urea and potash fertilizers. Ont. Dep. Lands and Forests Res. Rep. No. 88. 44 pp.

Mahendrappa, M.K.; Ogden, E.D. 1973. Patterns of ammonia volatization from a forest soil. Plant and Soil 38:257-265.

Mahendrappa, M.K. 1978. Changes in the organic layers under a black spruce stand fertilized with urea and triple superphosphate. Can. J. For. Res. 8:237:242.

Malm, D.; Moller, G. 1974. Differences in volume growth increase after fertilization with urea and ammonium nitrate fertilizer (Swedish with English summary). Föreningen Skogsträdsförädling och institutet för Skogsforbättring. Årsbok, 1974, p. 75-97.

Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1977. Fate of urea fertilizer added to a boreal forest (*Pinus banksiana* Lamb.) stand. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41:441-448.

Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1979. Five-year growth in two nitrogen-phosphorus fertilization experiments in spruce and spruce-fir upland forest in northern Ontario. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-299. 15 pp.

Morrison, I.K.; Hegyi, F.; Foster, N.W.; Winston, D.A.; Tucker, T.L. 1976a. Fertilizing semimature jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in northwestern Ontario: Fourth year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-240.

Morrison, I.K.; Winston, D.A.; Foster, N.W. 1976b. Urea dosage trial in semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-251. 8 pp.

Morrison, I.K.; Swan, H.S.D.; Foster, N.W.; Winston, D.A. 1976c. Ten-year growth response to fertilizer of a 90-year-old black spruce stand in northwestern Ontario. For. Chron. 52(5):233-236.

Morrison, I.K.; Winston, D.A.; Foster, N.W. 1977a. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-258. 12 pp.

Morrison, I.K.; Winston, D.A.; Foster, N.W. 1977b. Effect of nitrogen and low thinning on growth of semimature jack pine forest, Chapleau, Ontario: Fifth-year results. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep. O-X-267. 10 pp.

Morrison, I.K.; Swan, H.S.D.; Foster, N.W.; Winston, D.A. 1977c. Ten-year growth in two fertilization experiments in a semimature jack pine stand in northwestern Ontario. For. Chron. 53(3):142-146.

Morrison, I.K.; Foster, N.W.; Swan, H.D. 1981. Ten-year response of semi-mature jack pine forest in northwestern Ontario to fall nitrogen-phosphorus and nitrogen-potassium fertilizer treatments. For. Chron. 55: 208-211.

Nadeau, J.P. 1977. La fertilisation aérienne des forêts, un investissement rentable. Expérience avec le pin gris en Mauricie, Québec. Ministère des Terres et Forêts du Québec. Serv. rech., Mémoire 35.

Overrein, L.N. 1970. Tracer studies on nitrogen immobilization-mineralization relationships in forest raw humus. Plant and Soil, 21, 478-500.

Plonski, W.L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Ont. Ministry of Natural Resources, Toronto, Ontario.

Reed, F.L.C. 1979. Realizing the economic potential of Canada's forest resource. For. Chron. 55:217-221.

Rennie, P.J. 1972. Forest fertilization in Canada. Pages 2330-2343 *in* Proceedings. Seventh World Forestry Congress. Vol. II. Buenos Aires, 1972.

Rennie, P.J. 1978. Utilization of soils of the boreal for forest production. Proceedings 11th Intern. Congress of Soil Science, 3:305-331. Edmonton, Alberta,

Roberge, M.R.; Gagnon, J.D. 1974. Étude d'un épandage aérien d'urée en forêt. Can. J. For. Res. 4:482-490.

Roberge, M.R.; Knowles, R. 1966. Ureolysis, immobilization, and nitrification in black spruce (*Picea marinana* Mill.) humus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:201-204.

Rosvall, O. 1979. Prognosfunkitioner för beräkning ar godslings-effekter. Föreningen Skogsträdsforädling och institutet för Skogsforbättring, Årsbok 1979.

Rowe, J.S. 1972. Les Régions forestières du Canada. Serv. can. forêts, min. Environ., Ottawa. Publ. nº 1300F, x + 172 p.

Scheffe, H. 1959. The analysis of variance. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Service canadien des forêts. 1973. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. Rapport d'étape 1969/72. Serv. can. forêts, Ottawa. Publ. 1319, iv + 22 p.

Sheedy, G. 1977. Évaluation des dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans des dispositifs de fertilization établis dans des peuplements de sapin et d'épinette. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech., M.T.F. Rapp. interne 176, 21 p.

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1967. Statistical methods. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Timmer, V.R.; Morrow, L.D. 1980. Preliminary growth response and foliar diagnosis of fertilized jack pine and black spruce plantations in the Lake Nipigon-Beardmore Area. Fac. Forestry, Univ. Toronto, Mimeo. 23 pp.

Timmer, V.R.; Morrow, L.D. 1984. Predicting fertilizer growth response and nutrient status of jack pine by foliar diagnosis. Pages 335-351 *in* E.L. Stone, ed. Forest soils and treatment impacts. Univ. Tenn.

Timmer, V.R.; Stone, E.L.; Embree, D.G. 1977. Growth response of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Can. J. For. Res. 7:441-447.

Tucker, T.L. 1974. What is it worth? An economic evaluation of fertilizer trials in jack pine at Dryden, Ontario. Pages 39-45 *in* Proc. Workshop on Forest Fertilization in Canada. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. For. Tech. Rep. No. 5.

Van Nostrand, R.S. 1979. Growth response to black spruce in Newfoundland to N, P, and K fertilization. For. Chron. 55:189-193.

Veilleux, J.-M.; Sheedy, G. 1977. Essai opérationnel de fertilisation aérienne de peuplements de pin gris dans la Mauricie. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Serv. rech. Mémoire 41. 137 p.

Vezina, P.E.; Linteau, A. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Québec. Can. Min. For. Rural Dev., Forest Res. Lab. Que. Reg., Inf. Rep. O-X-2.

Viro, P.J. 1972. Die Walddüngung auf Finnischen Mineralböden. Folia For. 138. 19 p., Helsinki.

Weetman, G.F. 1968. The nitrogen fertilization of three black spruce stands. Woodlands Paper No. 6, Pulp and Paper Research Institute of Canada, Pointe Claire, Québec.

Weetman, G.F. 1975. Ten-year growth response of black spruce to thinning and fertilization treatments. Can. J. For. Res. 5:302-309.

Weetman, G.F.; Fournier, R. 1982. Graphical diagnosis of lodgepole pine response to fertilization. Soil Sci. Soc. Proc. 46 (6):1280-1289.

Weetman, G.F.; Fournier, R. 1984a. Ten-year growth and nutrition effects of a straw treatment and of repeated fertilization on jack pine. Can. J. For. Res. 14(3):416-423.

Weetman, G.F.; Fournier, R. 1984b. Ten-year growth results of nitrogen source and interprovincial experiments on jack pine. Can. J. For. Res. 14(3):424-430.

Weetman, G.F.; Krause, H.H.; Koller, E. 1976. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles — Résultats du premier remesurage quinquennal dans trente installations fertilisées en 1969, remesurées en 1974. Serv. can. forêts, Ottawa. RTF 16. vi + 34 p.

Weetman, G.F.; Roberge, M.; Meng, C.H. 1980. Black spruce thinning and fertilization: 15-year growth and humus microbiological responses. Can. J. For. Res. 10:502-509.

Weetman, G.F.; Yang, R.C.; Bella, I.E. 1985. Nutrition and fertilization of lodgepole pine. Pages 225-232 *in* D.M. Baumgartner, R.G. Krebill, J.T. Arnott, G.F. Weetman, eds. Lodgepole pine: the species and its management. Sym. Proc.: Washington State Univ., Pullman, WA.

Annexes

Annexe I. Couvert forestier et autres caractéristiques des lieux étudiés

Dispositif	Végétation		Classe de pente[c]	Roche-mère		Classe[e] de drainage	Profondeur d'enracinement (cm)
	Arbres[a]	Au sol[b]		Dépôt	Texture[d]		
Nouvelle-Écosse 1	Épr 8, Sab 2	Mh9	2	moraine d'ablat.	LSa	2	41
Nouvelle-Écosse 2	Épb 9	Mn2	2	fluvio-glaciaire	SaLi, LSa	1	61
Nouvelle-Écosse 3	Sab 9, Épb 1	Mn9	2	moraine	LLi, Lar	3	33
Nouvelle-Écosse 4	Épr 9	—	1	moraine	Saf et L	2	36
Nouvelle-Écosse 5	Épr 8, Sab 1	Mn9, Ms	1	moraine	SaLi, LSa	2	33
Nouveau-Brunswick 1	Épb 9	Mh7	2	moraine	SaLi, LSa	2	48
Nouveau-Brunswick 2	Épb 9	Mh8	2	moraine	SaLi, LSa	2	48
Québec 1	Sab 8	Mh8, G2	1	moraine	SaLi, LSa	3	33
Québec 2	Sab 5, Épb 1	Mh8, É2	1	moraine d'ablat.	SaLi, LSa	2/3	30
Québec 3	Sab 7, Épb 1	Mh7, H1	3	moraine d'ablat.	SaLi, LSa	2	30
Québec 4	Sab 6, Épn 1	Mh9	1	moraine d'ablat.	Satf, L	2	30
Québec 5	Sab 7, Épn 1	Mh9	2	moraine	SaLi, LSa	3	30
Québec 6	Sab 8	Mh8	3	moraine	SaLi, LSa	2	46
Québec 7	Sab 7, Épn 1	Mh9	1	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	2	30
Québec 8	Épn 6	É3, Mh1	2	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	22
Québec 9	Sab 7, Bob 1	H1	2	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	2	15
Québec 10	Pig 5, Épn 1	É3, Mh2	1	lacustre	LLi, LAr	4/5	15
Québec 11	Pig 4, Bob 3	É1	3	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	20
Québec 12	Sab 4, Épn 2	Mh1, H1	2	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	2/3	15
Québec 13	Épn 7, Pig 1	Mh2, MS1	1	lacustre	Li, LAr	4	18
Québec 14	Épn 6	É2, Mh1	2	lacustre	Li, LAr	4	18
Québec 15	Épn 5, Pig 3	Mh1	2	lacustre	LLi, LAr	4/5	23
Québec 16	Sab 4, Bob 3	Mh2, Ms1	1	lacustre	ArLi, Ar	3/4	20
Québec 17	Épn 5	Mh3, É2	2	fluvio-glaciaire	Sam et f	4	25
Québec 18	Pig 5, Épn 1	É2, Cla1	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	23
Québec 19	Pig 6	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	30
Québec 20	Pig 8	H1, É1	2	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	3	20
Québec 21	Épn 6	É2, Ms1	2	tourbe	—	5	30
Québec 22	Épn 6	É3, Mh1	2	fluvio-glaciaire	Sam et f	2	22
Québec 23	Pig 7	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Saf et L	2	25
Québec 24	Pig 4, Épn 4	É1, Mh1	2	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	25
Québec 25	Épn 6	É3, Mh1	3	fluvio-glaciaire	SaLi, Lsa	2/3	15
Québec 26	Pig 6	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	1	18
Québec 27	Sab 8	Mh2, H1	3	moraine	Sam et f	3	20
Québec 28	Épn 6, Sab 2	Mh2	3	moraine	Sam et g	3	30
Québec 29	Sab 8	Mh2	3	moraine	LSa et L	3	8
Québec 30	Sab 8	M2, Ms	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	4	20
Québec 31	Pig 6	É2, Mh1	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	20
Québec 32	Pig 4, Épn 5	Mh9, É8	1	fluvio-glaciaire	Sam et f	1	33
Québec 33	Pig 9	Mh9, É8	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	30
Québec 34	Sab 9	Mh9, H1	3	moraine	Saf et m	2	30
Québec 35	Épn 9	Mh9	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	15
Québec 36	Épn 9	Mh9, É8	1	moraine	Saf et m	2	15
Québec 37	Épn 9	Mh9	3	moraine d'ablat.	Saf et m	2	15
Québec 38	Pig 9	É8, Cla7	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	25
Québec 39	Pig 9	Cla9, É9	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	33
Québec 40	Pig 9, Épn 1	É5, Mh6	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	51

Annexe I *(suite et fin)*

Dispositif	Végétation		Classe de pente[c]	Roche-mère		Classe[e] de drainage	Profondeur d'enracinement (cm)
	Arbres[a]	Au sol[b]		Dépôt	Texture[d]		
Ontario 1	Épn 5, Pig 1	H9, Mh5	1	moraine	ArLi, Ar	4	5
Ontario 2	Épn 4, Pig 2	Mh8, H1	2	moraine	ArLi, Ar	3	10
Ontario 3	Pig 6	Mh7, É2	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	—
Ontario 4	Pig 6	Mh9, É8	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	—
Ontario 5	Pig 8	Mh9, É6	3	lacustre	Sam et g	1	—
Ontario 6	Pig 6	É9, Mh7	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	—
Ontario 7	Pig 8	É8, Mh8	2	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	36
Ontario 8	Pig 8	É9, Mh7	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	28
Ontario 9	Pig 7	É8	1	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	1	36
Ontario 10	Pig 3	É2	1	fluvio-glaciaire	Saf, SaL	1	33
Ontario 11	Épn 6	Mh9, H6	1	lacustre	ArLi, Ar	5	8
Ontario 12	Épn 5	Mh9, H7	1	lacustre	ArLi, Ar	3	10
Ontario 13	Pig 4	Mh9, É2	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	41
Ontario 14	Pig 4	Mh9, É4	2	fluvio-glaciaire	Saf et SaL	1	28
Ontario 15	Pig 5	Mh9, H5	2	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	23
Ontario 16	Pig 5	Mh9, É3	2	fluvio-glaciaire	Saf et m	1	25
Ontario 17	Pig 8, Bob 1	Mh9, É2	2	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	51
Ontario 18	Pig 5	Mh9, É3	1	fluvio-glaciaire	Sam et g	1	20
Manitoba 1	Pig 9, Épn 1	Mh9, Ms1	1	moraine d'ablat.	Saf et SaL	3	46
Manitoba 2	Pig 9, Épn 1	Mh8, H2	1	moraine d'ablat.	Sam et g	3	46
Manitoba 3	Pig 8, Épn 2	Mh8, Cla3	1	moraine d'ablat.	Sam et g	1	46
Manitoba 4	Pig 8, Épn 2	Mh8, H1	1	moraine d'ablat.	Sam et g	1	46
Manitoba 5	Épn 9	Mh7, Ms3	1	moraine d'ablat.	ArLi, Ar	3	38
Manitoba 6	Épn 9	Mh8	1	moraine d'ablat.	ArLi, Ar	3	38
Manitoba 7	Épn 6	Mh8, H1	2	moraine d'ablat.	ArLi, Ar	3	38
Manitoba 8	Épn 6	Ms8, H1	1	tourbe	—	6	30
Saskatchewan 1	Pig 6, Épn 4	Cla, M8	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	30
Saskatchewan 2	Pig 9	Mh9, H1	1	till remanié	Saf et m	2	48
Saskatchewan 3	Épn 9	Mh9, Cla	1	lacustre	ArLi, LSa	4	23
Saskatchewan 4	Pet 8, Peb 2	G3, H4	1	moraine d'ablat.	SaLi, LSa	3	30
Saskatchewan 5	Pig 6, Épn 4	Cla, Mh	1	fluvio-glaciaire	Saf et m	2	30
Alberta 1	Épb 9	Ms5, H4	1	lacustre	LLi, LAr	3	60
Alberta 2	Épb 6, P et 3	Mh7, H2	1	fluvio-glaciaire	SaLi, LSa	3	71
Alberta 3	Épb 9	Mh8, H1	1	lacustre	Saf et m	3/4	20

[a]Abréviations des essences d'arbres: Pin gris: Pig; Épinette noire: Épn; Épinette blanche: Épb; Sapin baumier: Sab; Peuplier faux-tremble: Pet; Peuplier baumier: Peb; Bouleau à papier: Bob.

[b]Abréviations des arbustes, des herbes et des mousses: Mousses hypnacées: Mh; Mousses de sphaigne: M; Herbacées à feuilles larges: H; Éricacées: É; Herbes: G; Cladonie: Cla.

Nota - Les chiffres qui suivent l'identification de l'espèce indiquent les fractions (dixièmes) du couvert ou de la couverture vivante.

[c]Classes de pente: 1: Nulle à faible (<5 %);2: faible à modérée (6 à 15 %); 3: forte (16 à 30 %).

[d]Texture: Sable: Sa; Limon: Li; Loam: L; Argile: Ar; grossier: gr; moyen: m; fin: f; très fin: tf.

[e]Drainage: Les classes de drainage sont celles que sont définies dans *Manual for describing soils in the field*, pages 38 et 39. Canada Soil Survey Committee, 1978 (révisé). Institut de recherches sur les terres, Agriculture Canada, Ottawa (Ont.)

Annexe II. Accroissement décennal et réaction à la fertilisation de chaque dispositif du programme interprovincial

		Témoin			Réaction				
Dispositif	Paramètre[a]	Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Nouvelle-Écosse 1	dhp	14,0	14,9	0,9					
	ST	36,3	42,0	5,7	1,7	2,0	0,0	1,1	1,3
	VT	245,4	298,7	53,3	14,8	16,5	-1,4	9,1	9,3
	VM	215,8	264,1	48,3	13,5	16,1	1,8	7,3	11,1
Nouvelle-Écosse 2	dhp	12,5	13,8	1,3					
	ST	36,5	44,6	8,1	0,2	1,5	1,1	0,3	1,1
	VT	194,2	256,5	62,3	1,5	12,6	7,3	1,2	10,2
	VM	150,3	210,4	60,1	1,3	15,1	8,4	0,6	10,3
Nouvelle-Écosse 3				— — perdu — —					
Nouvelle-Écosse 4	dhp	13,8	14,2	0,4					
	ST	37,9	40,4	2,5	0,8	1,4	0,3	0,8	1,1
	VT	247,2	272,2	25,0	7,1	12,0	2,5	6,3	9,5
	VM	211,0	234,7	23,7	8,1	11,1	2,5	7,7	9,4
Nouvelle-Écosse 5	dhp	12,3	13,7	1,4					
	ST	29,9	37,6	7,7	-0,7	-0,8	-0,4	0,1	2,6
	VT	181,7	243,1	61,4	-5,5	-6,9	-5,2	0,4	21,3
	VM	145,1	205,2	60,1	-2,8	-7,5	-3,0	2,0	19,6
Nouvelle-Brunswick 1				— — perdu — —					
Nouvelle-Brunswick 2				— — perdu — —					
Québec 1	dhp	15,3	16,5	1,2					
	ST	41,4	48,5	7,1	0,5	0,2	1,7	2,2	1,1
	VT	289,3	353,3	64,0	1,9	2,0	14,0	15,7	9,5
	VM	250,2	311,0	60,8	3,6	2,3	15,8	17,0	9,3
Québec 2	dhp	13,1	14,1	1,0					
	ST	33,3	38,6	5,3	1,3	1,3	0,8	1,4	1,9
	VT	220,6	266,1	45,5	9,9	9,5	6,1	11,6	14,5
	VM	180,8	225,1	44,3	9,3	12,8	7,8	11,0	16,1
Québec 3				— — perdu — —					
Québec 4	dhp	12,2	13,0	0,8					
	ST	37,2	42,6	5,4	0,6	1,6	1,2	1,4	0,4
	VT	233,1	273,0	39,9	2,5	14,2	15,1	11,1	-0,8
	VM	183,4	226,5	43,1	2,9	11,4	11,7	14,2	1,8
Québec 5	dhp	8,8	9,7	0,9					
	ST	38,2	46,0	7,8	2,2	1,9	4,0	2,2	3,2
	VT	223,5	277,7	54,2	17,5	14,8	29,3	16,2	23,1
	VM	113,0	169,3	56,3	18,8	16,3	30,0	16,9	28,3
Québec 6	dhp	11,2	12,2	1,0					
	ST	16,9	20,3	3,4	0,8	1,3	0,8	0,8	0,6
	VT	101,9	131,2	29,3	6,9	9,1	5,8	4,3	4,2
	VM	73,1	99,5	26,4	7,5	12,5	6,3	5,1	5,7
Québec 7	dhp	11,3	12,4	1,1					
	ST	27,8	33,6	5,8	-0,2	-0,5	0,8	0,0	0,0
	VT	179,7	227,0	47,3	-1,5	-2,9	7,2	3,5	0,1
	VM	131,3	181,4	50,1	-2,4	-6,9	4,0	1,3	-2,6

Annexe II. *(suite)*

Dispositif	Paramètre*	Témoin			Réaction				
		Initial	Final	Accrois-sement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 8	dhp	11,4	12,3	0,9					
	ST	30,2	35,2	5,0	0,7	0,2	0,8	-1,3	1,3
	VT	196,0	242,8	46,8	5,2	3,9	7,0	-11,5	11,2
	VM	146,7	193,1	46,4	3,9	3,1	6,7	-12,6	10,6
Québec 9	dhp	10,9	12,2	1,3					
	ST	18,9	23,8	4,9	0,0	0,4	0,6	0,3	1,8
	VT	118,7	157,7	39,0	0,4	2,5	5,0	1,8	14,4
	VM	79,1	119,2	40,1	-0,5	1,4	2,8	0,2	14,8
Québec 10	dhp	11,7	13,0	1,3					
	ST	25,1	30,5	5,4	1,9	3,3	2,3	2,5	1,8
	VT	189,0	235,3	46,3	13,2	27,4	23,1	25,6	16,9
	VM	141,5	191,7	50,2	10,7	23,1	19,2	20,5	11,2
Québec 11	dhp	12,8	14,2	1,4					
	ST	29,0	35,8	6,8	0,1	0,1	0,5	2,5	1,1
	VT	237,9	304,7	66,8	1,3	0,8	5,6	25,1	11,8
	VM	195,0	260,1	65,1	1,7	-1,8	6,1	23,9	11,2
Québec 12	dhp	11,3	12,5	1,2					
	ST	19,2	23,6	4,4	0,0	0,5	1,2	1,1	0,8
	VT	112,8	145,6	32,8	-2,6	3,0	11,5	8,9	2,8
	VM	81,5	113,5	32,0	0,1	3,4	10,1	8,2	6,2
Québec 13	dhp	12,5	13,5	1,0					
	ST	32,9	38,2	5,3	1,6	0,9	2,3	2,0	1,1
	VT	209,3	261,5	52,2	9,4	8,4	17,1	10,0	6,0
	VM	164,2	216,7	52,5	11,6	6,1	17,2	10,5	8,1
Québec 14	dhp	11,6	13,1	1,5					
	ST	24,6	31,0	6,4	1,2	1,2	2,9	4,0	1,0
	VT	134,8	188,7	53,9	7,4	7,3	3,9	3,4	1,1
	VM	99,5	151,2	51,7	10,1	11,5	4,9	6,0	2,2
Québec 15	dhp	11,2	12,2	1,0					
	ST	154,0	182,0	28,0	5,7	5,6	5,1	3,5	4,0
	VT	225,9	291,5	65,6	14,2	11,9	11,3	12,2	11,9
	VM	166,8	232,9	66,1	13,1	12,4	10,9	9,9	11,3
Québec 16	dhp	13,6	14,7	1,1					
	ST	14,4	16,7	2,3	6,5	1,1	3,1	1,9	1,8
	VT	94,2	110,2	16,0	3,3	7,5	21,0	15,0	13,5
	VM	77,9	94,1	16,2	3,1	8,2	20,8	13,9	13,1
Québec 17	dhp	10,2	11,5	1,3					
	ST	15,0	18,4	3,4	0,4	0,9	0,6	0,4	-0,3
	VT	83,2	109,7	26,5	3,9	8,4	5,0	3,4	-2,9
	VM	56,8	81,5	24,7	4,5	7,9	5,1	3,6	-3,0
Québec 18	dhp	9,6	10,8	1,2					
	ST	19,7	25,1	5,4	0,9	1,7	2,6	2,0	2,5
	VT	123,2	169,5	46,3	7,8	13,9	20,4	16,5	21,4
	VM	66,7	115,3	48,6	7,0	13,3	24,0	16,6	19,3

Annexe II. *(suite)*

Dispositif	Paramètre[a]	Témoin			Réaction				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 19	dhp	12,6	13,9	1,3					
	ST	19,8	24,2	4,4	0,6	0,8	1,4	1,8	1,2
	VT	144,2	188,1	43,9	5,2	7,4	12,4	15,7	11,7
	VM	114,1	157,6	43,5	4,4	6,9	13,0	15,8	10,6
Québec 20	dhp	14,6	16,0	1,4					
	ST	25,7	30,7	5,0	1,1	1,4	0,1	0,8	0,7
	VT	198,9	255,0	56,1	11,1	13,2	0,4	7,9	6,9
	VM	170,2	225,5	55,3	8,3	11,9	-0,3	-1,1	6,2
Québec 21	dhp	10,6	11,8	1,2					
	ST	20,9	27,7	6,8	0,8	1,1	1,5	-0,3	0,7
	VT	105,7	142,1	36,4	7,0	9,8	11,3	-1,0	5,3
	VM	72,4	107,7	35,3	4,2	10,7	9,6	-0,8	2,7
Québec 22	dhp	11,7	12,9	1,2					
	ST	20,0	24,1	4,1	1,0	0,0	1,1	0,2	0,9
	VT	105,2	143,1	37,9	9,0	0,2	8,2	3,0	9,0
	VM	79,6	116,9	37,3	8,8	0,3	7,5	2,5	7,9
Québec 23	dhp	9,2	10,9	1,7					
	ST	19,1	27,3	8,2	-0,6	0,1	1,5	0,2	1,1
	VT	109,4	194,8	85,4	6,7	11,0	12,7	9,4	10,1
	VM	49,3	135,9	86,6	0,0	7,0	11,8	3,2	6,6
Québec 24	dhp	10,8	12,1	1,3					
	ST	22,6	29,0	6,4	1,2	1,1	1,6	2,4	2,6
	VT	142,9	205,9	63,0	9,7	11,0	14,6	24,4	21,9
	VM	103,0	162,2	59,2	13,5	10,4	15,7	23,0	22,0
Québec 25	dhp	11,1	12,2	1,1					
	ST	21,8	26,4	4,6	1,1	0,1	1,6	1,1	1,4
	VT	104,8	142,1	37,3	6,7	-0,8	9,8	6,6	9,2
	VM	74,9	110,8	35,9	9,3	-0,7	9,7	6,4	8,0
Québec 26	dhp	11,9	12,9	1,0					
	ST	20,4	23,9	3,5	1,1	1,7	2,6	2,5	2,3
	VT	120,7	156,2	35,5	8,0	11,5	20,7	20,0	18,7
	VM	91,7	124,7	33,0	9,2	13,2	21,2	21,4	19,2
Québec 27				— — perdu — —					
Québec 28	dhp	14,5	15,3	0,8					
	ST	29,4	32,9	3,5	0,6	0,3	0,0	0,1	0,7
	VT	168,3	205,0	36,7	4,4	2,2	-2,5	-2,2	4,1
	VM	144,1	179,2	35,1	4,2	1,7	-2,8	-2,4	3,5
Québec 29				— — perdu — —					
Québec 30	dhp	12,1	12,7	0,6					
	ST	29,4	32,5	3,1	0,6	-0,3	0,3	0,2	-0,1
	VT	171,0	205,7	34,7	3,3	-1,8	1,1	1,5	-3,2
	VM	137,2	164,1	26,9	5,8	-1,0	2,9	2,4	-1,2

Annexe II. *(suite)*

Dispositif	Paramètre[a]	Témoin			Réaction				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 31	dhp	16,1	17,3	1,2					
	ST	29,6	34,2	4,6	0,6	0,9	1,3	1,0	0,5
	VT	219,1	279,0	59,9	4,5	8,7	12,4	9,1	6,9
	VM	194,3	252,1	57,8	4,7	8,3	12,2	8,9	6,5
Québec 32	dhp	12,3	13,7	1,4					
	ST	20,5	25,1	4,6	0,9	1,1	1,8	2,2	1,9
	VT	121,0	163,9	42,9	7,8	9,2	16,2	18,9	17,1
	VM	96,8	138,3	41,5	8,8	10,0	18,0	20,2	18,3
Québec 33	dhp	10,5	11,9	1,4					
	ST	18,0	23,3	5,3	-0,5	0,1	-0,1	1,2	1,4
	VT	97,9	147,5	49,6	-2,9	0,2	1,1	11,8	13,5
	VM	63,1	110,7	47,6	-3,3	1,3	2,9	12,3	14,6
Québec 34				— — perdu — —					
Québec 35	dhp	9,2	10,0	0,8					
	ST	33,0	38,8	5,8	1,5	1,2	1,9	0,8	2,2
	VT	137,9	177,5	39,6	9,0	9,9	16,4	9,8	15,9
	VM	69,0	106,3	37,3	9,2	10,7	20,6	13,5	17,8
Québec 36	dhp	9,2	9,9	0,7					
	ST	25,1	28,8	3,7	1,4	2,8	2,7	2,9	3,6
	VT	114,1	142,9	28,8	8,5	18,4	19,4	22,6	24,1
	VM	64,1	87,8	23,7	12,0	20,3	22,5	26,9	26,8
Québec 37	dhp	10,5	11,0	0,5					
	ST	33,5	36,6	3,1	0,6	1,5	2,1	0,9	1,2
	VT	216,2	239,0	22,8	9,7	16,8	20,3	11,7	11,7
	VM	139,9	169,5	29,6	3,2	12,0	15,8	5,4	9,5
Québec 38	dhp	9,5	10,4	0,9					
	ST	17,8	21,9	4,1	-0,1	1,2	0,8	1,9	2,0
	VT	92,3	121,8	29,5	-0,8	10,8	6,7	14,6	14,2
	VM	48,1	77,9	29,8	-3,9	10,3	7,1	16,2	14,1
Québec 39	dhp	8,7	9,8	1,1					
	ST	14,8	18,7	3,9	0,9	1,9	2,5	2,2	2,1
	VT	66,5	99,3	32,8	7,5	8,6	18,0	13,2	13,6
	VM	22,7	52,6	29,9	9,7	6,7	22,5	14,0	15,9
Québec 40	dhp	12,7	14,0	1,3					
	ST	25,1	30,8	5,7	0,6	1,8	1,2	2,2	2,3
	VT	184,7	245,6	60,9	7,0	15,3	10,6	21,7	18,8
	VM	147,5	208,4	60,9	5,1	13,6	9,4	18,7	14,9
Ontario 1	dhp	12,2	13,3	1,1					
	ST	28,4	34,6	6,2	0,1	-0,2	-0,5	-0,5	-0,8
	VT	182,1	232,0	49,9	-0,2	-2,1	-4,7	-4,2	-7,1
	VM	141,5	191,1	49,6	-0,9	-3,8	-6,2	-5,5	-9,2

Annexe II. *(suite)*

Dispositif	Paramètre[a]	Témoin			Réaction				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Ontario 2	dhp	13,6	14,7	1,1					
	ST	32,2	37,7	5,5	0,6	0,0	0,1	0,0	0,6
	VT	234,1	282,1	48,0	4,9	-1,3	0,4	-5,8	5,5
	VM	194,3	241,4	47,1	5,3	-1,0	1,2	-3,4	5,4
Ontario 3	dhp	14,2	15,6	1,4					
	ST	21,4	26,3	4,9	1,1	0,7	1,6	1,5	0,9
	VT	155,2	211,9	56,7	10,9	7,8	15,5	14,2	9,0
	VM	132,2	186,6	54,4	10,2	7,2	15,1	13,6	8,5
Ontario 4	dhp	15,7	16,8	1,1					
	ST	26,5	31,0	4,5	0,6	0,3	0,3	1,4	1,0
	VT	216,6	283,2	66,4	2,8	0,6	1,2	11,3	7,9
	VM	191,1	254,5	63,4	3,2	0,8	1,3	11,5	7,9
Ontario 5	dhp	15,3	16,4	1,1					
	ST	26,5	30,8	4,3	1,4	0,9	0,9	1,2	0,9
	VT	230,3	279,4	49,1	13,3	9,9	8,9	12,4	9,0
	VM	201,3	249,8	48,5	15,6	9,7	9,4	12,6	9,0
Ontario 6	dhp	12,6	13,9	1,3					
	ST	24,3	30,1	5,8	1,5	1,3	2,1	2,4	2,3
	VT	183,0	257,4	74,4	16,4	14,0	22,9	25,1	24,2
	VM	146,4	217,4	71,1	14,4	12,1	20,4	22,5	25,6
Ontario 7	dhp	10,7	12,1	1,4					
	ST	23,7	30,8	7,1	0,5	1,6	2,0	2,5	2,1
	VT	155,6	239,5	83,9	4,1	13,6	15,5	24,0	18,7
	VM	100,8	181,7	80,9	4,8	13,7	17,6	24,3	17,9
Ontario 8	dhp	9,6	11,1	1,5					
	ST	22,7	31,6	8,9	0,3	0,0	1,6	2,2	1,7
	VT	137,1	234,0	95,9	9,3	-0,8	15,5	21,8	16,5
	VM	74,5	167,7	93,2	7,4	-1,0	13,0	21,6	16,1
Ontario 9	dhp	8,9	10,6	1,7					
	ST	16,6	23,9	7,3	1,5	2,5	2,7	1,4	1,9
	VT	85,9	154,6	68,7	11,7	18,0	21,0	9,8	14,5
	VM	39,1	101,7	62,6	12,4	22,5	28,5	14,2	16,6
Ontario 10	dhp	8,9	10,9	2,0					
	ST	18,0	28,2	10,2	0,5	1,6	0,8	1,3	2,3
	VT	89,8	179,7	89,9	1,7	12,3	7,8	9,0	14,8
	VM	46,6	129,9	83,3	-5,9	13,9	6,6	6,8	8,3
Ontario 11	dhp	15,1	16,0	0,9					
	ST	39,2	44,3	5,1	-1,8	-1,0	-2,4	0,7	0,2
	VT	273,1	321,5	48,4	-14,8	-9,5	-20,8	7,6	-5,0
	VM	238,3	285,6	47,3	-15,0	-9,9	-21,0	6,8	-1,0

Annexe II. *(suite)*

Dispositif	Paramètre[a]	Témoin			Réaction				
		Initial	Final	Accrois-sement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Ontario 12	dhp	20,7	21,7	1,0					
	ST	52,5	57,2	4,7	2,0	0,8	0,2	0,0	0,5
	VT	397,2	448,4	51,2	19,6	8,2	4,9	4,8	8,0
	VM	366,5	415,6	49,1	20,8	6,3	5,6	5,7	6,2
Ontario 13	dhp	14,9	16,4	1,5					
	ST	28,1	34,4	6,3	1,6	1,8	-0,6	1,8	0,6
	VT	218,1	288,1	70,0	14,2	17,6	-7,0	16,4	4,6
	VM	189,5	257,2	67,7	13,9	17,7	-7,1	16,2	4,4
Ontario 14				— — perdu — —					
Ontario 15	dhp	14,0	15,4	1,4					
	ST	29,3	35,9	6,8	0,2	0,5	-1,0	1,8	0,5
	VT	213,3	290,3	77,0	0,8	4,1	-11,8	14,4	4,3
	VM	180,5	255,0	74,5	0,9	4,3	-11,5	14,5	4,3
Ontario 16	dhp	13,9	15,4	1,5					
	ST	23,3	28,9	5,6	0,3	0,5	0,7	2,2	1,3
	VT	168,7	236,9	68,2	3,7	4,0	6,5	20,5	12,8
	VM	142,4	207,8	65,4	4,0	4,1	6,6	20,1	12,3
Ontario 17	dhp	9,2	10,7	1,5					
	ST	17,9	24,3	6,4	0,3	0,4	-0,2	0,4	-0,5
	VT	102,7	164,1	61,4	0,4	2,2	-1,1	4,9	-3,1
	VM	48,1	111,3	63,2	3,1	3,6	-3,0	2,3	-4,4
Ontario 18	dhp	8,9	10,1	1,2					
	ST	21,4	28,0	6,6	2,1	3,6	2,7	1,9	3,0
	VT	116,1	170,5	54,4	13,7	24,2	19,1	13,3	20,6
	VM	48,0	103,3	55,3	17,9	30,6	21,2	15,3	26,2
Manitoba 1	dhp	14,2	15,2	1,0					
	ST	31,7	36,9	5,2	0,8	0,9	-0,2	0,8	1,1
	VT	218,9	277,9	59,0	5,2	7,1	-6,2	4,9	3,5
	VM	186,4	243,6	57,2	5,4	7,8	-5,6	4,9	4,2
Manitoba 2	dhp	14,0	15,0	1,0					
	ST	28,6	33,2	4,6	0,5	1,4	0,5	0,2	1,1
	VT	195,4	241,9	46,5	4,5	17,6	6,8	3,7	13,5
	VM	164,3	210,0	45,7	4,3	16,4	6,1	2,8	12,7
Manitoba 3	dhp	12,8	13,7	0,9					
	ST	27,0	31,0	4,0	2,2	1,7	1,6	2,2	2,2
	VT	159,2	193,4	34,2	10,2	16,6	12,9	14,8	15,9
	VM	125,4	160,4	35,0	16,1	15,0	11,8	13,9	16,4
Manitoba 4	dhp	14,7	15,6	0,9					
	ST	31,0	35,2	4,2	1,6	1,6	2,3	1,9	1,7
	VT	204,4	249,3	44,9	14,6	13,1	18,1	15,3	10,7
	VM	172,4	216,1	43,7	14,2	13,0	18,3	15,4	12,9

Annexe II. *(suite et fin)*

Dispositif	Paramètre[a]	Témoin			Réaction				
		Initial	Final	Accroissement	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Manitoba 5	dhp	9,7	10,4	0,7					
	ST	38,2	44,5	6,3	1,2	1,4	1,4	0,8	0,9
	VT	202,1	253,6	51,5	7,3	3,8	6,3	0,5	5,3
	VM	122,7	171,1	48,4	8,8	-0,6	7,2	0,4	4,3
Manitoba 6	dhp	13,1	13,7	0,6					
	ST	39,4	43,4	4,0	1,6	2,2	0,8	0,5	2,0
	VT	248,3	290,1	41,8	13,8	22,2	7,8	2,6	18,6
	VM	203,7	242,8	39,1	13,4	21,3	7,8	2,5	18,0
Manitoba 7	dhp	10,8	11,6	0,8					
	ST	38,8	46,1	7,3	0,2	0,8	0,1	-0,4	0,5
	VT	197,8	252,4	54,6	-0,3	3,8	0,1	-3,0	1,7
	VM	128,5	186,6	58,1	-5,0	0,6	-1,9	-5,9	1,8
Manitoba 8	dhp	13,5	14,1	0,6					
	ST	51,9	57,3	5,4	-0,1	-0,5	-0,1	0,0	0,1
	VT	345,4	407,1	61,7	-4,2	-8,3	-4,6	-4,3	-4,4
	VM	286,6	345,1	58,5	-2,5	-6,4	-3,2	-3,2	-3,5
Saskatchewan 1	dhp	9,7	10,5	0,8					
	ST	34,1	40,2	6,1	0,4	2,8	3,4	3,6	3,0
	VT	197,3	239,9	42,6	4,3	19,9	26,5	27,2	25,2
	VM	112,3	159,1	46,8	5,5	20,6	27,9	28,9	25,5
Saskatchewan 2	dhp	14,7	15,6	0,9					
	ST	27,0	30,8	3,8	0,9	1,4	1,5	1,2	0,9
	VT	208,7	251,4	42,7	7,8	12,6	13,6	11,4	9,0
	VM	179,9	221,1	41,2	7,5	12,1	14,2	11,1	8,7
Saskatchewan 3				— — perdu — —					
Saskatchewan 4				— — perdu — —					
Saskatchewan 5	dhp	12,7	13,7	1,0					
	ST	27,9	32,5	4,6	0,6	3,2	1,7	2,3	2,3
	VT	205,8	249,6	43,8	5,5	31,2	16,0	19,5	22,3
	VM	163,3	205,7	42,4	6,7	33,6	16,7	20,6	23,8
Alberta 1	dhp	21,8	23,3	1,5					
	ST	39,1	44,3	5,2	0,4	1,1	-0,4	-0,4	-0,2
	VT	374,9	438,3	63,4	10,0	17,5	2,0	-1,4	4,1
	VM	344,6	407,3	62,7	7,4	15,6	0,5	-2,2	1,8
Alberta 2	dhp	11,1	12,2	1,1					
	ST	42,0	51,5	9,5	0,7	0,6	-0,5	0,6	-0,2
	VT	265,4	365,9	100,5	-2,7	-1,9	-9,1	6,2	0,7
	VM	190,3	285,9	95,6	-5,2	-3,6	-9,3	3,4	-1,0
Alberta 3	dhp	9,7	10,6	0,9					
	ST	30,5	36,6	6,1	1,2	2,5	2,5	2,6	2,7
	VT	200,8	261,3	60,5	8,9	20,3	21,4	20,7	23,4
	VM	143,6	200,7	57,1	9,3	19,4	21,0	20,4	20,9

[a] dhp (cm), ST (m^2/ha), VT et VM: m^3/ha. Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Annexe III. Signification statistique des effets de la fertilisation sur l'accroissement en volume total (VT) dans chaque dispositif

Dispositif	F[a]	Traitements selon l'ordre croissant des accroissements moyens en volume total (VT)[b]					
Nouvelle-Écosse 1	5,91	2N + P	T	2N + K	2N + PK	N	2N
Nouvelle-Écosse 2	2,62	T	2N + K	N	2N + P	2N + PK	2N
Nouvelle-Écosse 3		— — perdu — —					
Nouvelle-Écosse 4	2,48	T	2N + P	2N + K	N	2N + PK	2N
Nouvelle-Écosse 5	4,07	2N	N	2N + P	T	2N + K	2N + PK
Nouveau-Brunswick 1		— — perdu — —					
Nouveau-Brunswick 2		— — perdu — —					
Québec 1	4,37	T	N	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Québec 2	1,09	T	2N + P	2N	N	2N + K	2N + PK
Québec 3		— — perdu — —					
Québec 4	5,06[c]	T	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Québec 5	7,84[c]	T	2N	2N + K	N	2N + PK	2N + P
Québec 6	0,68	T	2N + PK	2N + K	2N + P	N	2N
Québec 7	1,66	2N	N	T	2N + PK	2N + K	2N + P
Québec 8	11,54[d]	2N + K	T	2N	N	2N + P	2N + PK
Québec 9	1,02	T	2N + K	2N + K	2N	2N + P	2N + PK
Québec 10	4,58	T	N	2N + PK	2N + P	2N + K	2N
Québec 11	6,80[c]	T	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Québec 12	1,88	N	T	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Québec 13	1,05	T	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P
Québec 14	0,68	T	2N + PK	2N + K	2N + P	2N	N
Québec 15	0,81	T	2N + P	2N + PK	2N	2N + K	N
Québec 16	0,93	T	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Québec 17	1,32	2N + PK	T	2N + K	N	2N + P	2N
Québec 18	6,46[c]	T	N	2N	2N + K	2N + P	2N + PK
Québec 19	8,34[c]	T	N	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Québec 20	1,49	T	2N + P	2N + PK	2N + K	N	2N
Québec 21	3,85	2N + K	T	2N + PK	N	2N	2N + P
Québec 22	3,15	T	2N	2N + K	2N + P	2N + PK	N
Québec 23	3,32	T	N	2N + K	2N + PK	2N	2N + P
Québec 24	1,95	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Québec 25	2,58	2N	T	2N + K	N	2N + PK	2N + P
Québec 26	5,41[c]	T	N	2N	2N + PK	2N + K	2N + P
Québec 27		— — perdu — —					
Québec 28	1,14	2N + P	2N + K	T	2N	2N + PK	N
Québec 29		— — perdu — —					
Québec 30	0,29	2N + PK	2N	T	2N + P	2N + K	N
Québec 31	1,35	T	N	2N + PK	2N	2N + K	2N + P
Québec 32	3,47	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Québec 33	3,66	N	T	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 34		— — perdu — —					
Québec 35	18,27[d]	T	N	2N + K	2N	2N + PK	2N + P
Québec 36	6,04[c]	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
Québec 37	7,72[c]	T	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P

Annexe III. *(suite et fin)*

Dispositif	F[a]	Traitements selon l'ordre croissant des accroissements moyens en volume total (VT)[b]					
Québec 38	6,70[c]	N	T	2N + P	2N	2N + PK	2N + K
Québec 39	1,54	T	N	2N	2N + K	2N + PK	2N + P
Québec 40	2,30	T	N	2N + P	2N	2N + PK	2N + K
Ontario 1	0,19	2N + PK	2N + P	2N + K	2N	N	T
Ontario 2	1,28	2N + K	2N	T	2N + P	N	2N + PK
Ontario 3	3,30	T	2N	2N + PK	N	2N + K	2N + P
Ontario 4	0,93	T	2N	2N + P	N	2N + PK	2N + K
Ontario 5	7,26[c]	T	2N + P	2N + PK	2N	2N + K	N
Ontario 6	8,02[c]	T	2N	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 7	2,26	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 8	1,65	2N	T	N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 9	1,43	T	2N + K	2N	2N + PK	2N	2N + P
Ontario 10	12,30[c]	T	N	2N + P	2N + K	2N	2N + PK
Ontario 11	9,80[c]	2N + P	N	2N	2N + PK	T	2N + K
Ontario 12	0,55	T	2N + K	2N + P	2N + PK	2N	N
Ontario 13	9,83[c]	2N + P	T	2N + PK	N	2N + K	2N
Ontario 14				— — perdu — —			
Ontario 15	3,47	2N + P	T	N	2N	2N + PK	2N + K
Ontario 16	8,13[c]	T	N	2N	2N + P	2N + PK	2N + K
Ontario 17	0,32	2N + PK	2N + P	T	N	2N	2N + K
Ontario 18	5,34[c]	T	2N + K	N	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 1	0,38	2N + P	T	2N + PK	2N + K	N	2N
Manitoba 2	3,76	T	2N + K	N	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 3	7,34[c]	T	2N + P	2N + K	2N + PK	N	2N
Manitoba 4	1,79	T	2N + PK	2N	N	2N + K	2N + P
Manitoba 5	0,35	T	2N + K	2N	2N + PK	2N + P	N
Manitoba 6	3,92	T	2N + K	2N + P	N	2N + PK	2N
Manitoba 7	1,10	2N + K	N	T	2N + P	2N + PK	2N
Manitoba 8	0,95	2N	2N + P	2N + PK	2N + K	N	T
Saskatchewan 1	10,11[c]	T	N	2N	2N + PK	2N + P	2N + K
Saskatchewan 2	4,85	T	N	2N + PK	2N + K	2N	2N + P
Saskatchewan 3				— — perdu — —			
Saskatchewan 4				— — perdu — —			
Saskatchewan 5	2,20	T	N	2N + P	2N + K	2N + PK	2N
Alberta 1	3,35	2N + K	T	2N + P	2N + PK	N	2N
Alberta 2	0,83	2N + P	N	2N	T	2N + PK	2N + K
Alberta 3	4,29	T	N	2N	2N + K	2N + P	2N + PK

[a]Les valeurs de F obtenues par covariance sont soulignées, tandis que les accroissements présentés selon l'ordre croissant ont été ajustés.
[b]Les traitements reliés par un trait ont des moyennes qui ne diffèrent pas au niveau de P = 0,1.
[c]F est significatif à P = 0,05.
[d]F est significatif à P = 0,01.

Annexe IV. Pertes en volume dues à la mortalité des tiges et gains en volume marchand dus au recrutement, par dispositif et par traitement

Dispositif	Mortalité						Recrutement					
	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha^a											
Nouvelle-Écosse 1	34,1	72,4	106,7	155,6	25,0	118,2	0,0	0,0	0,8	0,4	0,9	0,8
Nouvelle-Écosse 2	39,4	71,2	65,0	41,6	59,9	22,2	0,9	0,9	4,9	5,0	0,0	1,3
Nouvelle-Écosse 3	— — perdu — —											
Nouvelle-Écosse 4	56,8	64,8	66,7	70,6	48,2	52,0	0,0	0,9	0,0	0,0	1,7	0,0
Nouvelle-Écosse 5	26,4	37,3	28,2	41,8	48,7	19,9	1,8	2,8	3,1	5,8	4,2	1,9
Québec 1	85,5	62,9	69,8	70,2	69,8	86,1	0,9	3,7	0,0	2,0	1,4	0,0
Québec 2	54,1	61,5	38,1	66,9	75,5	53,5	1,5	2,6	8,7	4,0	1,2	3,7
Québec 3	— — perdu — —											
Québec 4	64,9	67,7	78,1	63,6	61,4	96,1	1,4	3,3	2,2	0,0	5,2	3,2
Québec 5	20,1	27,4	24,4	31,7	27,9	36,0	18,0	17,8	19,4	22,0	23,0	28,3
Québec 6	13,5	21,8	24,9	15,8	26,0	23,4	2,5	0,5	5,9	1,5	3,0	0,7
Québec 7	46,9	46,9	82,0	98,0	66,3	106,2	8,4	6,0	0,6	1,8	3,8	2,2
Québec 8	29,6	29,9	27,1	32,3	52,4	57,9	1,3	1,9	0,3	4,1	0,8	3,4
Québec 9	105,0	62,3	59,6	65,6	64,8	33,9	7,6	3,9	2,6	2,6	2,5	12,9
Québec 10	23,1	10,9	14,6	11,3	11,0	13,7	9,8	14,6	11,8	7,4	8,2	6,6
Québec 11	19,0	24,8	21,0	8,3	10,5	28,1	2,0	3,0	1,8	4,6	2,1	0,5
Québec 12	38,1	50,0	65,3	42,4	47,2	24,9	3,5	10,6	7,3	4,9	5,1	11,0
Québec 13	27,8	21,9	11,8	15,1	15,6	18,2	3,4	9,7	2,7	8,3	9,5	10,0
Québec 14	8,1	3,1	4,1	7,2	1,6	6,1	5,9	10,7	15,5	7,4	12,6	8,4
Québec 15	4,3	14,6	18,2	22,7	12,8	18,0	7,4	5,9	9,6	9,5	1,8	6,0
Québec 16	62,1	53,9	80,1	29,3	96,6	70,3	0,7	0,9	2,4	0,7	0,3	1,3
Québec 17	11,6	22,8	8,9	6,0	17,4	37,6	8,6	5,9	11,6	7,1	5,8	3,9
Québec 18	9,6	16,3	18,6	26,7	27,2	34,2	11,7	6,8	7,3	20,9	6,6	5,3
Québec 19	9,6	14,5	17,2	17,1	13,4	20,8	2,4	1,2	0,8	4,2	3,3	0,7
Québec 20	47,5	61,3	57,8	75,8	49,6	67,3	3,6	4,2	2,0	0,6	3,8	0,9
Québec 21	4,2	11,7	41,7	21,1	26,9	26,1	8,0	2,9	6,5	5,4	1,5	7,9
Québec 22	6,3	16,2	35,8	19,1	12,1	8,7	2,6	4,2	5,5	6,0	3,9	2,1
Québec 23	25,6	28,9	29,0	21,7	24,9	22,5	24,8	2,3	4,7	28,6	4,5	26,6
Québec 24	9,2	6,7	20,6	8,0	9,2	16,8	5,9	6,8	2,2	4,4	4,3	3,9
Québec 25	5,0	0,0	3,6	1,4	0,7	1,5	4,6	14,2	6,0	9,1	11,0	4,1
Québec 26	4,6	5,5	5,5	7,4	4,6	3,4	1,7	2,6	4,5	1,9	2,6	0,9
Québec 27	— — perdu — —											
Québec 28	34,0	36,0	40,5	68,5	67,4	76,0	2,2	1,0	0,0	0,0	1,2	0,6
Québec 29	— — perdu — —											
Québec 30	20,2	55,8	38,9	75,0	62,1	89,6	0,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Québec 31	14,4	5,7	8,6	23,8	12,1	7,6	1,0	0,7	0,0	0,4	0,5	0,5
Québec 32	5,8	9,5	27,1	16,2	15,8	12,8	5,8	10,5	5,3	10,0	7,4	11,2
Québec 33	9,7	20,6	8,7	15,8	10,4	17,2	7,0	1,7	5,6	5,9	5,9	6,7
Québec 34	— — perdu — —											
Québec 35	6,9	7,2	9,2	13,3	19,2	13,7	8,1	9,9	7,5	11,5	9,6	14,7
Québec 36	4,8	1,7	4,3	9,2	6,6	8,2	3,7	9,9	9,2	9,1	9,1	10,9
Québec 37	19,6	74,1	91,8	156,7	96,0	66,7	5,7	0,5	2,4	1,4	0,4	3,5
Québec 38	10,5	9,0	4,4	9,5	6,9	8,1	6,9	4,2	5,7	8,2	10,3	12,1
Québec 39	9,5	9,8	4,2	10,0	8,6	6,3	10,9	13,5	22,9	20,7	22,3	23,3
Québec 40	11,0	4,6	10,0	16,9	9,9	20,0	2,8	1,6	0,0	2,4	1,7	3,0

Annexe IV. ***(suite et fin)***

Dispositif	Mortalité						Recrutement					
	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK	T	N	2N	2N + P	2N + K	2N + PK
	m^3/ha^a											
Ontario 1	36,5	35,3	10,0	19,5	37,7	48,1	3,3	0,0	0,4	0,6	0,5	0,4
Ontario 2	42,1	27,5	40,5	66,1	18,3	30,2	1,6	0,0	0,9	0,9	0,4	0,4
Ontario 3	21,5	11,8	7,2	8,9	17,6	18,7	0,2	0,0	0,0	0,7	0,0	0,2
Ontario 4	24,2	17,9	20,2	19,8	21,6	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 5	23,8	20,2	18,6	23,6	12,5	31,9	0,0	0,7	0,0	0,4	0,3	0,5
Ontario 6	12,7	20,0	25,6	17,0	27,3	20,1	1,0	1,3	0,8	0,0	1,1	6,6
Ontario 7	8,0	5,8	17,0	15,2	26,3	11,8	6,8	10,2	5,0	18,1	9,5	4,9
Ontario 8	15,7	16,4	33,5	32,4	20,6	25,4	15,2	6,7	10,1	9,6	22,3	15,1
Ontario 9	4,6	5,1	33,2	30,2	48,9	14,2	25,6	25,2	17,2	34,8	9,8	18,1
Ontario 10	1,5	2,5	6,9	0,7	0,6	2,2	22,4	42,4	27,2	24,6	45,8	57,8
Ontario 11	34,5	96,1	55,3	155,9	50,1	52,3	0,0	0,0	0,0	4,0	0,4	0,3
Ontario 12	96,0	287,0	142,9	116,7	209,9	173,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 13	37,7	47,1	31,3	44,1	36,3	37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 14	— — perdu — —											
Ontario 15	25,9	29,4	51,2	37,5	26,5	41,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ontario 16	20,7	16,1	12,5	27,7	16,3	22,6	0,0	0,3	0,0	0,8	1,3	0,0
Ontario 17	44,1	33,7	39,0	44,7	35,2	85,0	13,9	24,2	22,6	9,8	7,3	9,8
Ontario 18	20,6	17,6	16,7	21,2	24,6	15,0	17,1	34,3	49,4	27,8	18,8	31,3
Manitoba 1	35,2	11,0	12,5	19,6	14,3	24,3	0,4	0,8	1,1	0,4	0,0	0,3
Manitoba 2	27,0	19,4	8,1	28,5	19,0	23,1	0,7	1,3	0,0	0,0	1,9	3,3
Manitoba 3	16,9	17,3	22,5	20,8	17,0	15,6	1,8	2,0	0,5	1,1	1,3	2,6
Manitoba 4	22,0	20,9	10,9	20,9	6,8	19,0	0,0	0,7	0,4	0,4	1,0	2,7
Manitoba 5	13,8	2,2	5,5	13,3	3,4	19,0	6,5	10,6	16,6	13,7	16,8	8,6
Manitoba 6	46,7	26,0	24,6	40,8	61,9	36,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6
Manitoba 7	13,6	12,5	8,8	10,2	13,3	11,4	10,0	9,1	13,0	10,4	8,0	15,9
Manitoba 8	49,5	42,4	31,2	54,3	36,6	26,4	0,0	1,2	1,3	0,6	0,0	0,0
Saskatchewan 1	5,6	16,2	19,9	14,5	5,3	15,5	8,1	5,5	13,9	12,3	17,4	7,1
Saskatchewan 2	19,6	16,0	17,6	19,1	15,2	23,3	0,9	1,1	1,8	3,1	0,6	0,2
Saskatchewan 3	— — perdu — —											
Saskatchewan 4	— — perdu — —											
Saskatchewan 5	11,6	20,4	13,8	34,4	10,8	23,3	1,0	4,9	5,1	0,6	5,9	2,8
Alberta 1	44,9	110,8	39,2	105,6	146,6	59,3	1,8	0,0	0,5	0,5	0,6	0,0
Alberta 2	32,1	4,1	18,9	4,4	10,3	18,0	4,7	17,4	6,4	7,5	1,8	2,4
Alberta 3	13,9	11,3	8,4	34,9	11,5	7,6	4,8	2,1	3,4	3,3	2,3	3,9

[a]Les facteurs de conversion aux mesures du système impérial sont présentés à l'annexe V.

Annexe V. Unités et rapports métriques et leurs équivalents dans le système impérial

1 cm	0,393 70 pouce
1 m	3,280 84 pieds
1 m^2	10,763 9 pieds carrés
1 ha	2,471 05 acres
1 m^3	35,314 7 pieds cubes
	10,353 147 cunits
1 kg	2,204 62 livres
1 m^2/ha	4,356 00 pieds carrés à l'acre
1 m^3/ha	14,291 3 pieds cubes à l'acre
1 kg/ha	0,892 179 livre à l'acre